

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de
Telecomunicación**



TRABAJO FIN DE MASTER

**MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA ACUSTICA DE LA
EDIFICACION Y MEDIO AMBIENTE**

**DATOS DE PRECISION EN LA EVALUACION DEL RUIDO
TRANSMITIDO AL INTERIOR DE UNA HABITACION SEGUN EL
REAL DECRETO 1367/2007**

MANUEL ANGEL FENOLL MARALDES

Julio 2015

Índice

Índice	ii
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xii
Resumen	xv
Summary	xvi
1 Introducción y objetivos	1
1.1. Introducción	2
1.2. Motivación.	4
1.3. Objetivo.	5
1.4. Estructura del trabajo.....	6
2 Términos y Definiciones	8
2.1. Términos y Definiciones.	9
2.1.1. Actividad/Instalación.	9
2.1.2. Contaminación acústica.	9
2.1.3. Emisor acústico.....	9
2.1.4. Ambiente interior.....	10
2.1.5. Local colindante.....	10

2.1.6. Definición de los niveles.....	10
2.1.6.1. Nivel de emisión sonora.....	10
2.1.6.2. Nivel de inmisión.....	10
2.1.6.3. Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo.	10
2.1.6.4. Nivel de presión sonora continuo equivalente.	11
2.1.7. Espectro de frecuencias.....	11
2.1.8. Clases de ruido.....	12
2.1.8.1. Ruido Tonal.....	12
2.1.8.2. Ruido de baja frecuencia.....	13
2.1.8.3. Ruido Impulsivo.	13
2.1.8.4. Ruido Uniforme o Continuo.	14
2.1.8.5. Ruido Fluctuante.....	14
2.1.8.6. Ruido de fondo o residual.	15
2.1.9. Periodo temporal.....	15
2.1.10. Ponderación frecuencial.....	15
2.1.11. Fases de ruido.	16
3 Real Decreto 1367/2007. Anexo IV	18

3.1. Introducción.....	19
3.2. Índices acústicos.....	19
3.2.1. Índice de ruido continuo equivalente, $L_{eq,T}$	20
3.2.2. Índice de ruido continuo equivalente corregido $L_{K_{eq,T}}$	20
3.3. Correcciones.....	21
3.3.1. Presencia de componentes tonales emergentes.....	22
3.3.2. Presencia de componentes de baja frecuencia.....	23
3.3.3. Presencia de componentes impulsivos.....	24
3.4. Métodos de evaluación para los índices de ruido.....	24
3.4.1. Introducción.....	24
3.4.2. Criterios de selección de los puntos de medida.....	25
3.4.3. Duración de las medidas.....	26
3.4.4. Condiciones de medición.....	27
3.5. Cumplimiento de las exigencias normativas.....	27
3.5.1. Valores límite.....	27
4 Procedimiento de medición para la fase preliminar	30
4.1. Descripción del entorno de medida.....	31
4.2. Señal de excitación empleada.....	34

4.3. Equipamiento empleado.	39
4.4. Montaje de la instrumentación.	40
4.5. Metodología de medición.	41
4.5.1. Altura y Puntos de medida.	41
4.5.2. Procedimiento en la toma de medidas.	42
4.5.2.1. Realización de los registros “in situ”.	42
4.5.2.2. Análisis y obtención de datos a partir de los ficheros de niveles:	
dBTrait32.	44
4.6. Datos obtenidos de $L_{Aeq,5s}$	49
4.6.1. Sala A.	50
4.6.2. Sala B.	52
4.6.3. Sala C.	54
4.6.4. Sala D.	56
4.6.5. Sala E.	58
5 Análisis de los datos de la fase preliminar	60
5.1. Determinación de la distribución poblacional.	61
5.1.1. Introducción.	62
5.1.2. Resultados.	63

5.2. Análisis para abordar la fase preliminar	66
5.2.1. Introducción.	66
5.2.2. Conteo Manual	70
5.2.3. Conteo teórico mediante la distribución binomial.	78
5.2.3.1. Introducción.	78
5.2.3.2. Determinación de la probabilidad de éxito, p , de la población.	79
5.2.3.3. Cuantificación del conteo para muestras de tamaño n	81
6 Método de evaluación y cálculo de incertidumbre	89
6.1. Aplicación práctica del método de evaluación de los índices acústicos.	90
6.1.1. Entorno y puntos de medida.	90
6.1.2. Instrumental empleado.....	92
6.1.3. Duración de las medidas.....	92
6.1.4. Resultado.....	92
6.2. Incertidumbre de medida.	94
6.2.1. Conceptos básicos.....	94
6.2.2. Método clásico: Ley de propagación de incertidumbres.	96
6.2.2.1. Preámbulo.	96
6.2.2.2. Evaluación de la incertidumbre tipo A.	97

6.2.2.3. Evaluación de la incertidumbre Tipo B.	98
6.2.2.4. Determinación de la incertidumbre típica combinada.	98
6.2.2.5. Determinación de la incertidumbre expandida.....	99
6.2.3. Aplicación del enfoque clásico de la GUM al método de evaluación.	100
6.2.3.1. Modelo matemático a estudiar.	100
6.2.3.2. Incertidumbre Tipo A.	101
6.2.3.3. Incertidumbre Tipo B.	101
6.2.3.4. Incertidumbre combinada.	102
6.2.3.5. Incertidumbre expandida U.	103
6.2.3.6. Incertidumbre debida al sonido residual.	104
7 Conclusiones.....	106
7.1. Conclusiones.....	107
8 Referencias Bibliográficas	110
ANEXOS	112

Índice de figuras

Figura 1. Fuentes de ruido en ambientes urbanos.	2
Figura 2. Clasificación de las quejas de los ciudadanos por fuentes de ruido.	3
Figura 3. Valores del nivel de evaluación entre laboratorios.	5
Figura 4. Espectro en bandas de octava y tercio de octava.	12
Figura 5. Espectro con componente tonal.	13
Figura 6. Espectro con predominio de componentes de baja frecuencia.	13
Figura 7. Representación gráfica de un ruido impulsivo repetitivo.	14
Figura 8. Registro gráfico de un ruido continuo.	14
Figura 9. Registro gráfico de un ruido fluctuante o intermitente, periódico.	15
Figura 10. Curvas de ponderación espectral.	16
Figura 11. Ejemplo de ruido de actividad con varias fases de ruido.	17
Figura 12. Croquis posiciones de micrófono.	26
Figura 13. Ubicación Salas A, B, C, D.	31
Figura 14. Croquis Sala A.	32
Figura 15. Croquis Sala B.	32
Figura 16. Croquis Sala C.	33
Figura 17. Croquis Sala D.	33
Figura 18. Croquis Sala E.	34
Figura 19. Evolución temporal Ruido 01.	34
Figura 20. Detalle evolución temporal Ruido 01.	35
Figura 21. Espectro promedio de 15 segundos de la evolución temporal del Ruido 01.	35
Figura 22. Evolución temporal Ruido 02.	36
Figura 23. Detalle evolucion temporal Ruido 02.	37

Figura 24. Espectro promedio de 15 segundos de la evolución temporal del Ruido 02.	37
Figura 25. Evolucion temporal Ruido 03.	38
Figura 26. Espectro promedio de Ruido 03.	38
Figura 27. Diagrama de montaje.	40
Figura 28. Croquis ubicación puntos de medida.	41
Figura 29. Malla de los puntos de medida.	42
Figura 30. Posición de la fuente.	42
Figura 31. Configuración de los parámetros dBTrig32.	43
Figura 32. Configuración de los parámetros de medida y almacenamiento.	43
Figura 33. Barra de herramientas dBTrait32 (I).	45
Figura 34. Ventana de configuracion <i>Evolucion del espectro</i> .	45
Figura 35. Venta historia temporal espectral.	46
Figura 36. Barra de herramientas dBTrait32 (II).	46
Figura 37. Detalle evolucion temporal.	47
Figura 38. Evolucion temporal en un punto de medida.	47
Figura 39. Valor de $L_{Aeq,5s}$.	48
Figura 40. Tabla de niveles Leq.	49
Figura 41. Representación gráfica de niveles en la Sala A para cada ruido.	51
Figura 42. Representación gráfica de niveles en la Sala B para cada ruido.	53
Figura 43. Representación gráfica de niveles en la Sala C para cada ruido.	55
Figura 44. Representación gráfica de niveles en la Sala D para cada ruido.	57
Figura 45. Representación gráfica de niveles en la Sala E para cada ruido.	59
Figura 46. Función de densidad de una distribución normal.	62
Figura 47. Función de densidad para distintos valores de σ y μ .	63
Figura 48. Imágenes de sesgo y curtosis.	64
Figura 49. Histograma y distribución normal.	65

Figura 50. Gráfico de probabilidad normal.	65
Figura 51. Región crítica y zona de aceptación en la distribución normal.	67
Figura 52. Porcentaje, α , de sucesos únicos con un nivel de presión sonora continuo equivalente máximo que excede, en un cierto número, y , de las desviaciones típicas, de la media de una distribución normal de los niveles de presión sonora continuo equivalente máximos.	68
Figura 53. Función de distribución acumulada para la distribución normal estándar.	68
Figura 54. Tabla de distribución normal tipificada inversa.	69
Figura 55. Distribucion Normal o de Gauss.	69
Figura 56. Probabilidad de acierto. Ruido 01 en todas las salas.	73
Figura 57. Incertidumbre Ruido 01.	74
Figura 58. Probabilidad de acierto. Ruido 02 en todas las salas.	75
Figura 59. Incertidumbre Ruido 02.	75
Figura 60. Probabilidad de acierto. Ruido 03 en todas las salas.	76
Figura 61. Incertidumbre Ruido 03.	77
Figura 62. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la region de aceptacion. Ruido 01.	83
Figura 63. Incertidumbre Ruido 01. Recuento binomial.	84
Figura 64. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la region de aceptacion. Ruido 02.	85
Figura 65. Incertidumbre Ruido 02. Recuento binomial.	85
Figura 66. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la region de aceptación. Ruido 03.	86
Figura 67. Incertidumbre Ruido 03. Recuento binomial.	87
Figura 68. Croquis y disposición de los puntos de medida de la fase preliminar.	
Aula D8006.	90

Figura 69. Expresión del resultado de una medición. Mensurando con su
incertidumbre asociada. 95

Figura 70. Contribución de cada componente a la incertidumbre combinada de
 $L_{Keq,T}$ eligiendo 6 puntos en la fase preliminar. 108

Índice de tablas

Tabla. I. Valores del límite de repetibilidad y reproducibilidad.	5
Tabla. II. Parámetro de corrección K_f .	23
Tabla. III. Parámetro de corrección K_f .	23
Tabla. IV. Parámetro de corrección K_f .	24
Tabla. V. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades.	28
Tabla. VI. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades para un periodo temporal.	28
Tabla. VII. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades para una fase de funcionamiento.	29
Tabla. VIII. Instrumentación.	39
Tabla. IX. Valores de $L_{Aeq,5s}$ en la Sala A.	50
Tabla. X. Valores de $L_{Aeq,5s}$ en la Sala B.	52
Tabla. XI. Valores de $L_{Aeq,5s}$ en la Sala C.	54
Tabla. XII. Valores de $L_{Aeq,5s}$ en la Sala D.	56
Tabla. XIII. Valores de $L_{Aeq,5s}$ en la Sala E.	58
Tabla. XIV. Resumen estadístico Sala E03.	64
Tabla. XV. Prueba de normalidad para E03.	65
Tabla. XVI. Prueba de Anderson-Darling.	66
Tabla. XVII. Valores de L_{Aeqmax} , para cada sala en funcion del ruido.	70
Tabla. XVIII. Conteo manual en muestras de 3 ítems.	72
Tabla. XIX. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 01.	73
Tabla. XX. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 02.	74

Tabla. XXI. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 03.	76
Tabla. XXII. Incertidumbre en función del ruido empleado y el tamaño de la muestra.	77
Tabla. XXIII. Incertidumbre en función del tamaño de la muestra.	78
Tabla. XXIV. Nivel continuo equivalente, $L_{Aeq,5s}$. Sala C01.	80
Tabla. XXV. Valores de la proporción de éxitos, p y su complementario, q .	81
Tabla. XXVI. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 01. Recuento binomial.	83
Tabla. XXVII. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 02. Recuento binomial.	84
Tabla. XXVIII. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre.	
Ruido 03. Recuento binomial.	86
Tabla. XXIX. Incertidumbre en función del ruido empleado y el tamaño de la muestra. Recuento binomial.	88
Tabla. XXX. Incertidumbre en función del tamaño de la muestra. Recuento binomial.	88
Tabla. XXXI. Valores de L_{Aeq} en el aula.	91
Tabla. XXXII. Instrumental empleado.	92
Tabla. XXXIII. Mediciones de ruido generado por la fuente.	92
Tabla. XXXIV. Mediciones de ruido de fondo.	93
Tabla. XXXV. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 1.	93
Tabla. XXXVI. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 2.	93
Tabla. XXXVII. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 3.	93

Tabla. XXXVIII. Valores del espectro del ruido de fondo.	93
Tabla. XXXIX. Corrección por componentes tonales y resultado de $L_{\text{keq},5s}$.	94
Tabla. XL. Valores de incertidumbre típica debida a la instrumentación.	101
Tabla. XLI. Incertidumbre típica de Tipo B asociada a la fase preliminar del punto de evaluación.	102
Tabla. XLII. Incertidumbre combinada en función del número de puntos de la fase preliminar.	103
Tabla. XLIII. Índice de ruido con la incertidumbre asociada a la medida para seis puntos en la fase preliminar.	103
Tabla. XLIV. Índices de ruido con la incertidumbre asociada a la medida.	104
Tabla. XLV. Incertidumbre expandida.	107

Resumen

El objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación realista de la incertidumbre en los ensayos de ruido transmitido al interior de una sala según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007, contemplando todas las posibles causas que intervienen en la incertidumbre de forma que las imprecisiones observadas en los ejercicios de intercomparación se cubran con un único ensayo.

Otra parte fundamental del trabajo es cuantificar la fuente de incertidumbre generada en la elección del punto de medición.

En primer lugar se realiza la medición del nivel continuo equivalente ponderado A en habitaciones de distinto tamaño, a la que llegan los distintos tipos de ruido emitido desde el exterior de las mismas.

El siguiente paso es realizar un análisis de los niveles medidos, tanto en su distribución espacial como en su evolución temporal, incidiendo en los valores máximos, $L_{Aeq,5s}$.

A continuación se comprueba si la distribución de los niveles medidos se ajusta a una distribución normal mediante el software de análisis estadístico STATGRAPHICS. Determinando, en base al tamaño de las muestras escogidas, por medio de análisis estadísticos, la aportación a la incertidumbre generada en la elección del punto de medida, cuantificando su valor.

Por último se realiza una medición del ruido de actividades según el Real Decreto 1367/2007, aportando una evaluación de la incertidumbre, teniendo en cuenta todas las fuentes que la generan, mediante el enfoque clásico de la GUM.

Summary

The objective of this work is to carry out a realistic assessment of the uncertainty in the trials of noise transmitted into the interior of a room according to Annex IV of the Royal Decree 1367/2007, considering all of the causes involved in uncertainty in such a way that the inaccuracies observed in intercomparison exercises are covered with a single trial.

Another fundamental part of the work is to quantify the source of uncertainty in the choice of the point of measurement.

First is the weighted equivalent of the continuous level measurement in rooms of different sizes, which reach different types of noise emitted from outside of them.

The next step is to perform an analysis of the measured levels, both in their spatial distribution and their temporal evolution, influencing the maximum values, $L_{Aeq,5s}$.

Then it is checked to see whether the distribution of the measured levels conforms to a normal distribution using the STATGRAPHICS statistical analysis software. Determining therefore, based on the size of the selected samples, through statistical analysis, the contribution to the uncertainty generated in the choice of the measurement point, quantifying its value.

At last is the measure of the noise of activities according to the Royal Decree 1367/2007, providing an assessment of the uncertainty, taking into account all sources that generate it, using the classical approach to the GUM.

1

Introducción y objetivos

1.1. Introducción.

El ruido o contaminación ambiental al que se encuentra expuesta la población, como se puede observar en la Figura 1 y Figura 2, esta generado por fuentes de ruido muy distintas entre sí, apareciendo entre las más significativas las siguientes:

- Infraestructuras y medios de transporte (tráfico rodado, tráfico ferroviario y tráfico aéreo).
- Actividades e instalaciones industriales, comerciales, deportivo-recreativas y de ocio.
- Maquinaria, las obras de construcción de edificios e ingeniería civil.
- Otras actividades o comportamientos (culturales, ruido de vecindad, etc.).

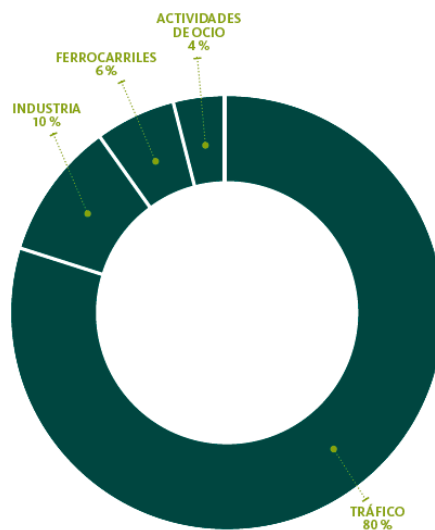


Figura 1. Fuentes de ruido en ambientes urbanos.

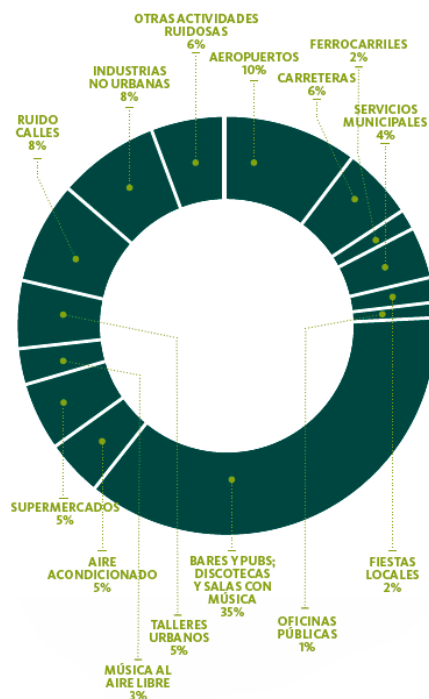


Figura 2. Clasificación de las quejas de los ciudadanos por fuentes de ruido.

La contaminación acústica es responsable de numerosas dolencias, como pueden ser la pérdida de audición, falta de concentración, estrés, perturbación del sueño e, incluso, determinadas enfermedades cardíacas.

En encuestas realizadas por el EuroBarómetro e Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre nivel, calidad y condiciones de vida se pone de manifiesto que el problema más habitual en España, en su conjunto, es el de los ruidos, tanto de los procedentes de la calle, como de los originados por los vecinos, que se estima afectan a entre el 25 % y 30 % de los hogares.

Para avanzar en la solución de este problema, la Unión Europea aprobó la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, transpuesta posteriormente al ordenamiento jurídico español mediante la Ley 37/2003, de 14 de noviembre, del ruido, con la finalidad de reglamentar las numerosas y variadas situaciones que originan ruidos por encima de los límites admisibles para una correcta convivencia.

Para dotar de eficacia a la Ley es necesario el desarrollo reglamentario de su articulado. Este desarrollo reglamentario se produjo de forma progresiva en dos fases, en la primera a través del Real Decreto 1513/2005, donde se regula todo lo referente a

la evaluación y gestión del ruido ambiental, y en la segunda fase, mediante el Real Decreto 1367/2007, donde se completa el desarrollo básico de la Ley del Ruido.

En este Real Decreto 1367/2007 se establecen las previsiones, contempladas en la propia Ley del Ruido, que exige sean desarrolladas en una norma de rango reglamentario, tales como los criterios a utilizar para la zonificación acústica del territorio, los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas y al *espacio interior de las edificaciones sensibles a la contaminación acústica*, así como, la limitación, a través de los correspondientes valores límite, de las emisiones y de los niveles de exposición de la población al ruido producido por los emisores acústicos, tales como las infraestructuras del transporte o las actividades que generan ruidos y vibraciones.

La necesidad de disponer de datos objetivos a la hora de determinar el cumplimiento o no de las exigencias establecidas en el Real Decreto 1367/2007 sobre contaminación acústica en las medidas de inmisión acústica generados por una actividad, hace absolutamente imprescindible la realización de mediciones.

Cuando se realizan inspecciones, no se comprueba si un determinado emisor genera molestias. Lo que se comprueba es si el emisor transmite o emite niveles de presión sonora superiores a los fijados por el Real Decreto. En el caso de no superarlos, el emisor es objetivamente legal.

Es por ello que es imprescindible definir claramente cuál es el objetivo de la medición a realizar y enfocar las mediciones hacia la obtención de valores válidos, coherentes, representativos y suficientes.

1.2. Motivación.

El motivo que ha llevado a plantear la realización del presente *Trabajo Fin de Master*, se debe a los elevados valores de dispersión observados en los resultados de los ejercicios colaborativos e intercomparaciones clásicas, y en consecuencia, ver cuáles pueden ser las causas.

En la última intercomparación organizada por la red de laboratorios ACUSTILAB durante el año 2014, los resultados, proporcionados por el proveedor RPS-QUALITAS en su informe global final, entregan unos valores globales de los datos de precisión, r y R , muy elevados, como se muestra en la Tabla. I.

	<i>r</i>	<i>R</i>
$L_{Aeqcorr}$	2,98	8,97
$L_{Keq,Ti}$ antes de redondeo	3,41	6,48
$L_{Keq,Ti}$ con redondeo	3,50	7,7

Tabla. I. Valores del límite de repetibilidad y reproducibilidad.

El informe también enunció unos valores del índice de ruido continuo equivalente corregido, $L_{Keq,Ti}$, en la medición del ruido transmitido al ambiente interior, muy dispares, Figura 3, con diferencias entre valores hasta de 6 dBA.

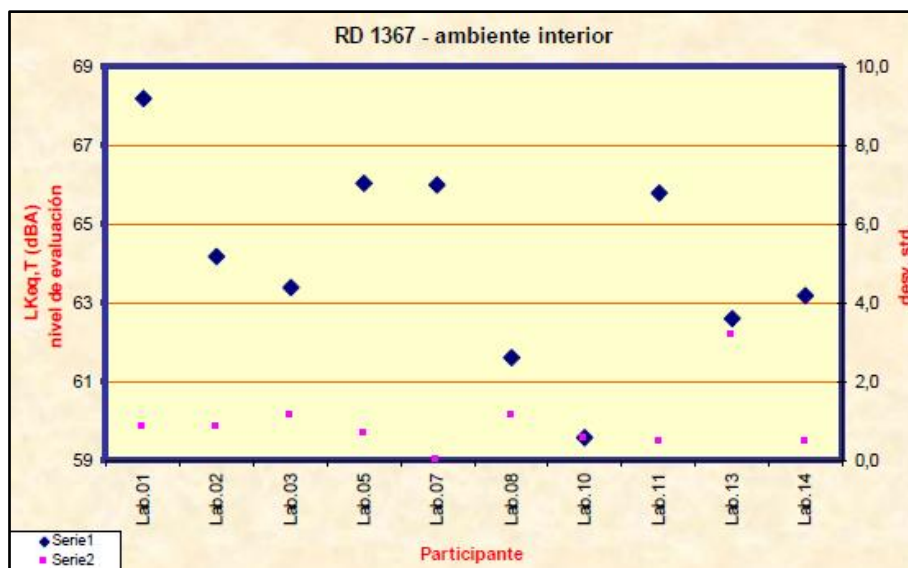


Figura 3. Valores del nivel de evaluación entre laboratorios.

1.3. Objetivo.

El objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación realista de la incertidumbre en los ensayos de ruido transmitido al interior de una sala según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007, contemplando todas las posibles causas que intervienen en la incertidumbre de forma que las imprecisiones observadas en los ejercicios de intercomparación se cubran con un único ensayo.

A partir del mencionado objetivo general, los objetivos específicos que este Trabajo Fin de Master pretende conseguir:

- Cuantificar la componente de incertidumbre, no estudiada, que representa la elección del punto de evaluación.

- Afianzar los conceptos sobre el método y el procedimiento de evaluación para los índices acústicos según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007.
- Realizar un ensayo práctico y aplicar una metodología rigurosa para estimar todas las componentes de incertidumbre asociada al resultado mediante el enfoque clásico de la GUM.

1.4. Estructura del trabajo.

Para conseguir los objetivos descritos en el punto anterior, se ha optado por estructurar el trabajo en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1. Introducción y objetivos.
- Capítulo 2. Términos y definiciones.
- Capítulo 3. Anexo IV. Real Decreto 1337/2007.
- Capítulo 4. Procedimiento de medición para la fase preliminar.
- Capítulo 5. Análisis de los datos para la fase preliminar.
- Capítulo 6. Método de evaluación y cálculo de la incertidumbre.
- Capítulo 7. Conclusiones.
- Capítulo 8. Referencias Bibliográficas.
- Anexos.

A continuación se describen brevemente cada uno de los capítulos:

En el capítulo 1 se introduce el tema del trabajo y se relatan la motivación y los objetivos del mismo.

En el capítulo 2 se definen los términos, y definiciones relacionadas con el trabajo realizado.

El capítulo 3 se centra en los fundamentos teóricos relacionados con el método de evaluación de los índices de ruido referentes a los niveles sonoros producidos por

ruido de actividades según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007, así como su articulado.

En el capítulo 4 se desarrolla el procedimiento empleado para la medición y elaboración de la base de datos que posteriormente serán analizados.

En el capítulo 5 se realizan los cálculos estadísticos partiendo de los niveles de la base de datos, por medio de un recuento manual y también teórico mediante las propiedades de la distribución binomial y se presentan los resultados de esos cálculos.

En el capítulo 6 se realiza un ensayo de la medida de ruido transmitido al ambiente interior por local colindante. Además se ilustra la metodología para estimar la incertidumbre de medida, mediante el enfoque clásico de la GUM, y se aplica al procedimiento con el fin de determinar la incertidumbre asociada al índice de ruido continuo equivalente corregido.

En el capítulo 7 se exponen las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo.

En el capítulo 8 se enumera la bibliografía consultada durante la realización del trabajo.

Además, el trabajo incluye los siguientes ANEXOS:

- ANEXO I: Macro empleada en Excel.
- ANEXO II: Cálculos estadísticos realizados en STATGRAPHICS.

2

Términos y Definiciones

2.1. Términos y Definiciones.

Para los fines de este Trabajo Fin de Master se aplican los siguientes términos y definiciones.

2.1.1. Actividad/Instalación.

Algunas de las definiciones más comunes son:

- Conjunto de acciones o tareas de carácter industrial, comercial, profesional o de servicios, que se ejercen o explotan en un centro o establecimiento.
- Cualquier instalación, establecimiento o actividad, públicos o privados, de naturaleza industrial, comercial, de servicios o de almacenamiento.
- Explotación de una industria, establecimiento, instalación, o, en general, cualquier actuación, susceptibles de afectar a la seguridad, a la salud de las personas, o al medio ambiente.

Las actividades están relacionadas casi siempre con maquinaria industrial, recintos de ocio (bares, pubs, discotecas,...) e instalaciones comunitarias de un edificio (AA.CC., ascensores, extractores,...).

2.1.2. Contaminación acústica.

Presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.

2.1.3. Emisor acústico.

Cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.

2.1.4. Ambiente interior.

Se considera ambiente interior todo aquello que se encuentra en el mismo edificio o edificios contiguos (p.ej. el ascensor de un edificio está situado en ambiente interior).

2.1.5. Local colindante.

Se considerará que dos locales son acústicamente colindantes, cuando en ningún momento se produce la transmisión de ruido entre el emisor y el receptor a través del medio ambiente exterior, o lo que es lo mismo, cuando exista transmisión estructural por los elementos sólidos de la edificación.

2.1.6. Definición de los niveles.

2.1.6.1. Nivel de emisión sonora.

El objetivo principal es medir el nivel de ruido generado por una actividad o instalación, que llega a un recinto. Si se puede saber de antemano el tipo de actividad o instalación que se va a medir, se puede tener una idea a priori de los niveles generados por dicha actividad o instalación.

2.1.6.2. Nivel de inmisión.

Se corresponde con el nivel acústico medio existente durante un periodo de tiempo determinado, medido en un lugar concreto, es decir, el nivel de ruido medio que le llega a un recinto, edificio, vivienda, estancia, etc.

En este caso se relaciona directamente con el nivel “bruto” medio que se registra durante un periodo de tiempo, pudiendo estar ponderado y/o corregido (L_{eq} , L_{Aeq} , L_{Ceq} , L_{A1eq} , $L_{K_{eq,Ti}}$ y $L_{K_{eq,T}}$).

2.1.6.3. Nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo.

La Norma UNE EN-ISO 1996-1:2005 lo define como diez veces el logaritmo decimal del cuadrado del cociente de una presión sonora cuadrática determinada y la presión acústica de referencia, que se obtiene con una ponderación frecuencial y una ponderación temporal normalizadas (1):

$$L_p = 10 * \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 20 * \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (1)$$

donde:

p : presión acústica considerada (Pa).

p_0 : presión acústica de referencia, de valor 20 μ Pa.

2.1.6.4. Nivel de presión sonora continuo equivalente.

Diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el cuadrado de la presión sonora cuadrática media durante un intervalo de tiempo determinado y la presión acústica de referencia, donde la presión sonora se obtiene con una ponderación frecuencial normalizada.

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A es el indicado en la ecuación (2):

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left\{ \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \right) / p_0^2 \right\} \text{ dBA} \quad (2)$$

donde:

$L_{Aeq,T}$ es el nivel de presión acústica con ponderación A continuo equivalente determinado sobre un intervalo de tiempo $T = t_2 - t_1$.

$p_A(t)$ es la presión sonora instantánea ponderada A durante el funcionamiento de la fuente.

p_0 es la presión acústica de referencia de 20 μ Pa.

2.1.7. Espectro de frecuencias.

Los ruidos se pueden descomponer en una superposición de sonidos puros de frecuencias diferentes. El espectro de frecuencias define como se reparte la energía sonora en cada una de ellas y conocerlo permite saber si el ruido contiene frecuencias bajas (graves), medias o altas (agudas). Varía aleatoriamente a lo largo del tiempo.

Para realizar un análisis de frecuencias (análisis espectral) se descompone este en bandas, y se determina el nivel de presión sonora correspondiente a cada una de las bandas. El análisis más utilizado es por filtros de octava y por filtros de tercio de octava, como se ve en la Figura 4.

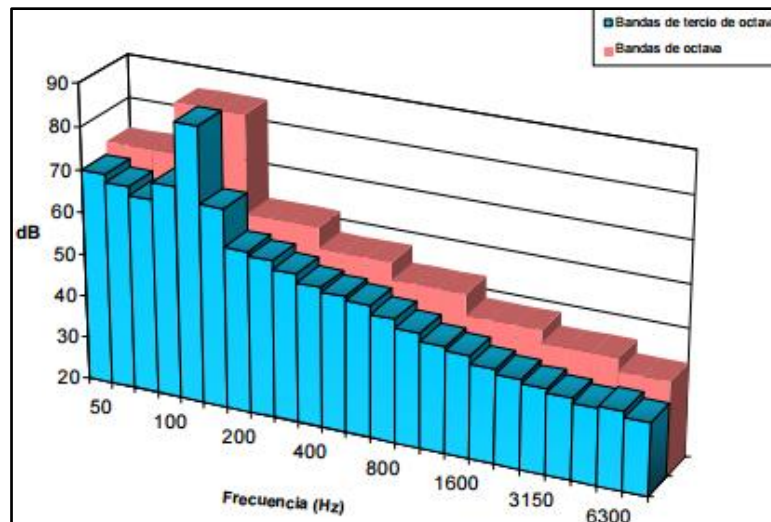


Figura 4. Espectro en bandas de octava y tercio de octava.

2.1.8. Clases de ruido.

Diversos son los ruidos que se pueden encontrar, donde cada uno tiene una serie de características por las que puede ser definido. Estas características se engloban en las siguientes:

- Espectro de frecuencias del ruido.
- Evolución temporal del ruido (periodicidad, aleatoriedad, etc.).

2.1.8.1. Ruido Tonal.

Señal que manifiesta la presencia de componentes tonales, es decir, si en el espectro de tercios de octava de la señal se observa que al menos uno de los tonos es 5 dBA mayor que los adyacentes, o es claramente audible (Figura 5).

Pueden existir dos o más tonos, pero corresponder a frecuencias diferentes.

Un ejemplo de componente tonal es el que se origina por la red eléctrica a 50 Hz.

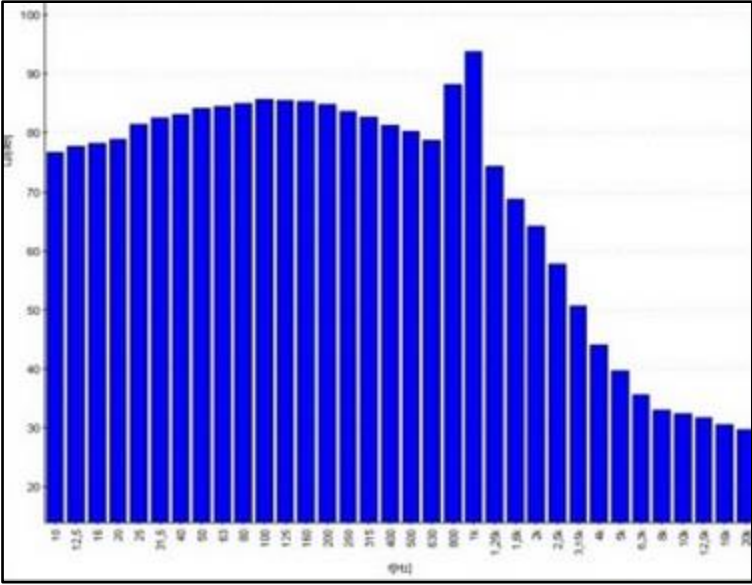


Figura 5. Espectro con componente tonal

2.1.8.2. Ruido de baja frecuencia.

Señal que tiene una energía acústica significativa en el margen de frecuencias entre 20 Hz y 125 Hz (Figura 6). Las principales fuentes generadoras de componentes de baja frecuencia se encuentran dentro del grupo de la maquinaria industrial, motores y transformadores.

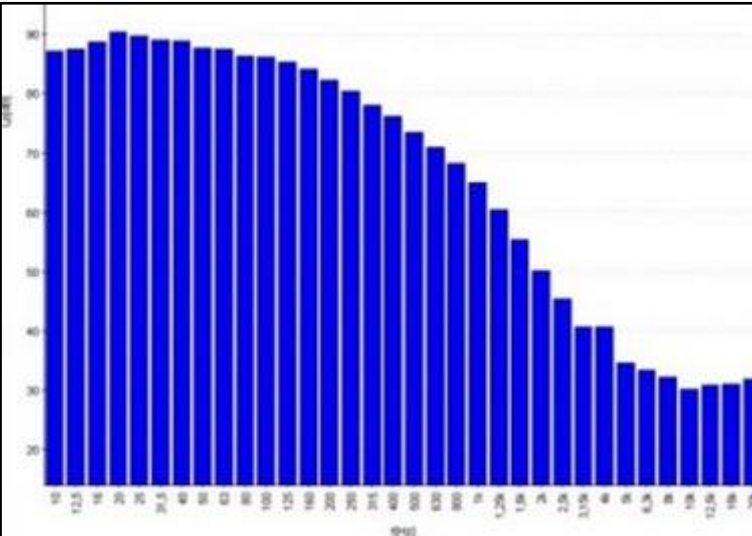


Figura 6. Espectro con predominio de componentes de baja frecuencia.

2.1.8.3. Ruido Impulsivo.

Se caracteriza por tener un cambio de nivel de presión sonora transitorio brusco y elevado en un corto intervalo de tiempo, de duración, por lo general, inferior a

1 segundo. Estos impulsos pueden presentarse aislados o ser repetitivos (Figura 7). Este puede ser el caso del ruido de impactos o explosivos.

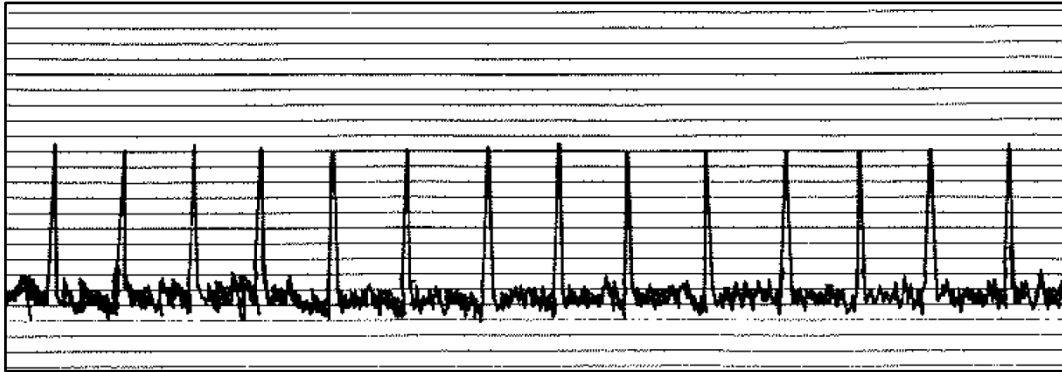


Figura 7. Representación gráfica de un ruido impulsivo repetitivo.

2.1.8.4. Ruido Uniforme o Continuo.

Ruido que se caracteriza por tener pequeñas fluctuaciones de los niveles de presión sonora en el tiempo, no existiendo diferencias de más de 5 o 10 dBA entre valores extremos (Figura 8).

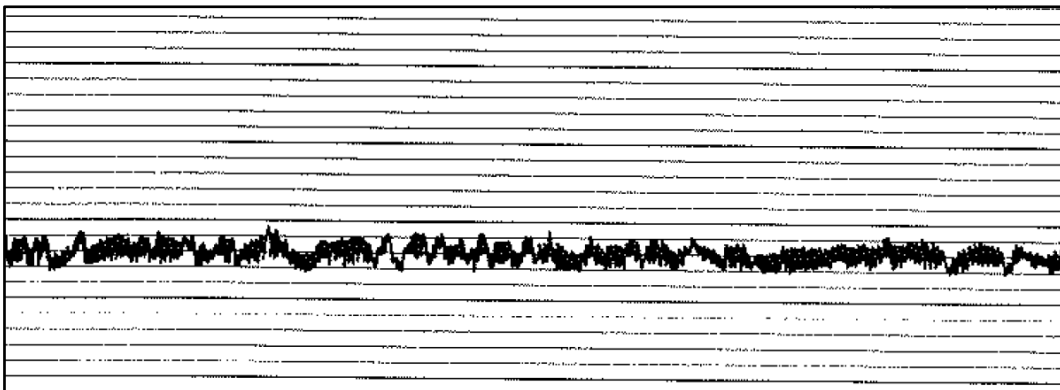


Figura 8. Registro gráfico de un ruido continuo.

2.1.8.5. Ruido Fluctuante.

Ruido que se caracteriza por tener distintos niveles de ruido durante periodos de tiempo variables. En este caso sí que se puede percibir claramente un cambio de nivel en la señal, pero no de manera impulsiva. Estas variaciones son superiores a 5 dBA y pueden ser periódicas o aleatorias (Figura 9).

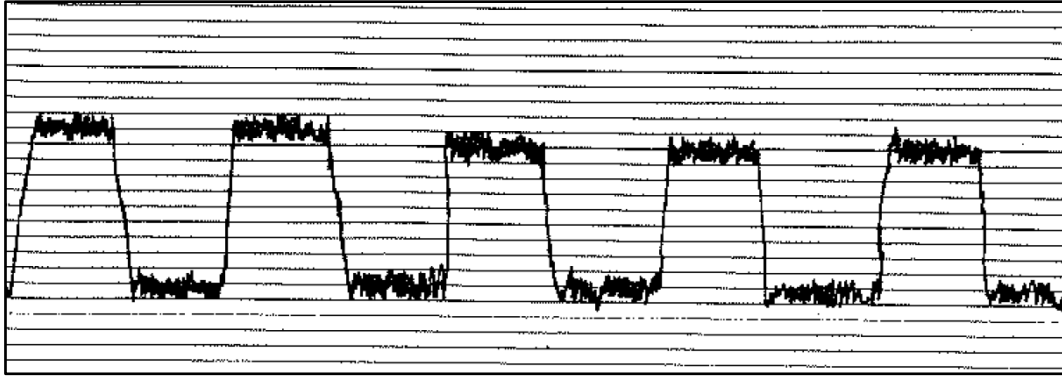


Figura 9. Registro gráfico de un ruido fluctuante o intermitente, periódico.

2.1.8.6. Ruido de fondo o residual.

Es el ruido ambiente que perdura cuando cesa (si es posible) toda actividad, específica en estudio. Sería más correcto denominarlo ruido con la actividad parada, pero por simplicidad se denomina ruido de fondo o residual. Cuanta más diferencia de nivel hay entre la actividad y el ruido de fondo, más molesta será ésta.

Si el ruido de fondo no es tenido en cuenta, puede suponer desviaciones superiores a 3 dBA en los niveles erróneamente atribuidos a la fuente de interés.

También es fácil caer en el error de atribuir a la fuente de ruido componentes de baja frecuencia o tonales que forman parte del ruido de fondo de la zona.

2.1.9. Periodo temporal.

Intervalo de evaluación en el que se suele dividir el día para cuantificar de una manera más adecuada el mismo ruido generado en diferentes tramos horarios.

El Real Decreto 1367/2007 establece tres periodos temporales de evaluación diarios:

- Periodo día (d): Le corresponden 12 horas (7.00 a 19.00 horas).
- Periodo tarde (e): Le corresponden 4 horas (19.00 a 23.00 horas).
- Periodo noche (n): Le corresponden 8 horas (23.00 a 7.00 horas).

2.1.10. Ponderación frecuencial.

Las ponderaciones espectrales se utilizan para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo

auditivo. Así, para niveles bajos de presión sonora se usa la ponderación A, generalmente para todas las fuentes de ruido, salvo los ruidos impulsivos de alta energía o los ruidos con un alto contenido de baja frecuencia. En cambio la ponderación C apenas aporta atenuación de las frecuencias graves, planteándose para la evaluación de ruidos de alto nivel, generalmente para las fuentes de ruido de alto contenido de baja frecuencia (Figura 10).

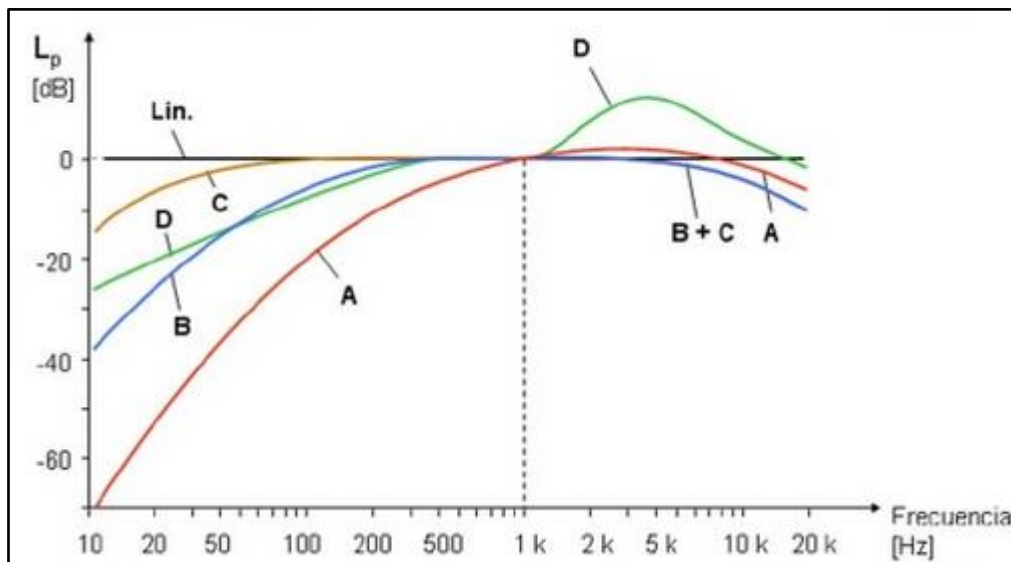


Figura 10. Curvas de ponderación espectral.

2.1.11. Fases de ruido.

Es el intervalo de tiempo en el que el nivel de presión sonora de la fuente que se evalúa es percibido de manera uniforme, así como las componentes de baja frecuencia, tonales y/o impulsivas.

En el Anexo IV se establece que se debe identificar las fases de ruido de una actividad para poder evaluarla correctamente, estableciendo el número de mediciones a realizar.

Esta identificación de fases se hace en base a la existencia de variaciones significativas, conformando periodos temporales uniformes en nivel, espectro y evolución temporal.

Si el ruido es uniforme en el periodo de evaluación, solo existirá una fase de ruido.

La otra posibilidad es que existan variaciones significativas del nivel de emisión sonora durante el periodo de evaluación, por lo que habrá que dividir dicho periodo en periodos de tiempo T_i o fase de ruido, una por cada modo de funcionamiento con ruido uniforme. En este caso habrá que especificar de forma precisa el tiempo de duración de cada fase para saber el nivel de ruido aportado.

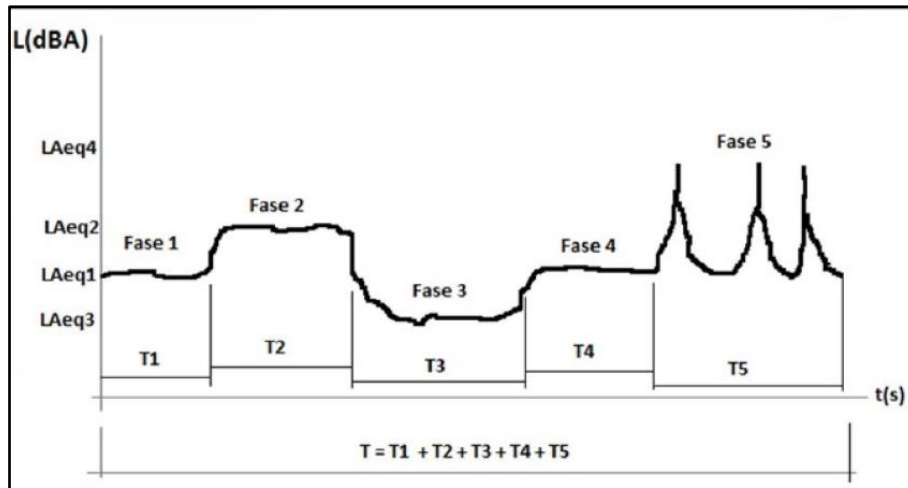


Figura 11. Ejemplo de ruido de actividad con varias fases de ruido.

En el ejemplo de la Figura 11 se puede observar una señal en la que se podrían establecer cinco fases de ruido con características diferentes en cada una de ellas.

Dado que la duración de las medidas es corta, es importante identificar correctamente las fases de ruido existentes, de forma que cada una de ellas quede perfectamente representada por la medición realizada.

3

Real Decreto 1367/2007. Anexo IV

En este capítulo se describen los aspectos más relevantes del Anexo IV del Real Decreto 1367, como de su capitulo, que están vinculados al método de evaluación, empleado en el presente trabajo, para la determinación de los índices acústicos.

3.1. Introducción.

La finalidad del REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de Octubre, es establecer las normas necesarias para el desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

- Para la consecución de dichos objetivos el Real Decreto:
- Define los índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente.
- Delimita los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.
- Establece los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones.
- *Regula los emisores acústicos fijando valores límite de emisión o de inmisión según corresponda.*
- *Establece los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.*

El Anexo IV fija los métodos y procedimientos de evaluación para los índices acústicos referentes a los niveles sonoros producidos por los emisores acústicos, como son las actividades.

3.2. Índices acústicos.

En la evaluación del ruido, para verificar el cumplimiento de los valores límite aplicables a los emisores acústicos, se aplicaran y deberán ser medidos los siguientes índices acústicos:

3.2.1. Índice de ruido continuo equivalente, $L_{eq,T}$.

- $L_{Aeq,T}$: Es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A determinado sobre un intervalo temporal de T segundos.

Es el índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos, durante un periodo de tiempo T .

Otros índices relacionados, que deberán ser medidos, son:

- $L_{A1eq,T}$: Ponderado A y con la constante temporal impulso (I) del equipo de medida activada. Se mide cuando se perciben componentes impulsivas en la actividad.
- $L_{Ceq,T}$: Ponderado C. Se mide cuando se perciben componentes de baja frecuencia en la actividad.
- Espectro en 1/3 de octava: Sin ponderar. Se mide para determinar la presencia de posibles componentes tonales en la actividad.

3.2.2. Índice de ruido continuo equivalente corregido $L_{Keq,T}$.

Índice de ruido asociado a la molestia, o a los efectos nocivos por la presencia en el ruido de componentes tonales emergentes, componentes de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, durante un periodo de tiempo T .

Este índice se calculara a partir de los resultados obtenidos en la medición realizada, como se puede ver en la ecuación (3):

$$L_{Keq,T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i \quad (3)$$

donde:

K_t es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{Keq,T}$ para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes tonales emergentes.

K_f es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{Keq,T}$ para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de componentes de baja frecuencia.

K_i es el parámetro de corrección asociado al índice $L_{Keq,T}$ para evaluar la molestia o los efectos nocivos por la presencia de ruido de carácter impulsivo.

Se establecen tres periodos temporales de evaluación, T :

- Periodo día (d): Periodo al que le corresponden 12 horas, de 7:00 horas a 19:00 horas.
- Periodo tarde (e): Le corresponden 4 horas, de 19:00 horas a 23:00 horas.
- Periodo noche (n): Al periodo noche le corresponden 8 horas, de 23:00 horas a 7:00 horas.

Si se detectan fases de ruido, la evaluación del nivel sonoro en el periodo temporal de evaluación se determinara a partir de los valores de los índices $L_{Keq,Ti}$ de cada fase de ruido medida, aplicando la ecuación (4):

$$L_{Keq,T} = 10 * \log_{10} \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i * 10^{0.1 * L_{Keq,Ti}} \right) \quad (4)$$

donde:

T es el tiempo en segundos correspondiente al periodo temporal de evaluación considerado ($\geq T_i$).

T_i es el intervalo de tiempo asociado a la fase de ruido i . La suma de los $T_i = T$.

n es el número de fases de ruido en que se descompone el periodo temporal de referencia T .

3.3. Correcciones.

Cuando en el proceso de medición de un ruido se detecte la presencia de componentes tonales emergentes, o componentes de baja frecuencia, o sonidos de alto nivel de presión sonora y corta duración debidos a la presencia de componentes

impulsivos, o cualquier combinación de ellos, se procederá a realizar una evaluación detallada del ruido introduciendo las correcciones adecuadas.

Los procedimientos de referencia en la evaluación detallada del ruido serán los siguientes:

3.3.1. Presencia de componentes tonales emergentes.

Para evaluar la presencia de componentes tonales se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- a) Realizar el análisis espectral del ruido en 1/3 de octava, sin filtro de ponderación.
- b) Calcular la diferencia (5):

$$L_t = L_f - L_s \quad (5)$$

donde:

L_f es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono emergente.

L_s es la media aritmética de los dos niveles siguientes, el de la banda situada inmediatamente por encima de f y el de la banda situada inmediatamente por debajo de f .

- c) La presencia o ausencia de componentes tonales y el valor del parámetro de corrección K_t , se obtendrá aplicando la Tabla. II:

Banda de frecuencia 1/3 de octava	L_t en dB	Componente tonal K_t en dB
De 20 a 125 Hz	Si $L_t < 8$	0
	Si $8 \leq L_t \leq 12$	3
	Si $L_t > 12$	6
De 160 a 400 Hz	Si $L_t < 5$	0
	Si $5 \leq L_t \leq 8$	3
	Si $L_t > 8$	6
De 500 a 10000 Hz	Si $L_t < 3$	0
	Si $3 \leq L_t \leq 5$	3
	Si $L_t > 5$	6

Tabla. II. Parámetro de corrección K_t .

- d) En el supuesto de la presencia de más de una componente tonal emergente se adoptara como valor del parámetro K_t , el mayor de los correspondientes a cada una de ellas.

3.3.2. Presencia de componentes de baja frecuencia.

Para la evaluación detallada del ruido por la presencia de componentes de baja frecuencia se tomara como procedimiento de referencia el siguiente:

- a) Medir de forma simultánea, los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.
- b) Calcular la diferencia entre los valores obtenidos, corregidos por ruido de fondo (6).

$$L_f = L_{Ceq,Ti,corr} - L_{Aeq,Ti,corr} \quad (6)$$

- c) La presencia o ausencia de componentes de baja frecuencia, así como el valor del parámetro K_f se obtendrá aplicando la Tabla. III.

L_f en dB	Componente de baja frecuencia K_f en dB
Si $L_f \leq 10$	0
Si $10 > L_f \leq 15$	3
Si $L_f > 15$	6

Tabla. III. Parámetro de corrección K_f .

3.3.3. Presencia de componentes impulsivos.

La evaluación detallada del ruido por presencia de componentes impulsivos se tomara como procedimiento de referencia el siguiente:

- Medir de forma simultánea, los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en una determinada fase de ruido de duración T_i , en la que se perciba el ruido impulsivo, $L_{Aeq,Ti}$, y con la constante temporal impulso (I), $L_{Aeq,Ti}$.
- Calcular la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo:

$$Li = L_{Aeq,Ti,corr} - L_{Aeq,Ti,corr} \quad (7)$$

- La presencia o ausencia de componente impulsiva y el valor del parámetro de corrección K_i , se determinara aplicando la Tabla. IV:

Li en dB	Componente impulsiva K_i en dB
Si $Li \leq 10$	0
Si $10 > Li \leq 15$	3
Si $Li > 15$	6

Tabla. IV. Parámetro de corrección K_i .

Realizadas todas las correcciones se tendrá en cuenta que el valor máximo de la corrección resultante de la suma $K_f + K_t + K_i$ no será superior a 9 dB.

3.4. Métodos de evaluación para los índices de ruido.

3.4.1. Introducción.

A los efectos de la inspección de actividades por las administraciones públicas competentes, la valoración de los índices acústicos se determinara únicamente mediante mediciones.

La medición, tanto para los ruidos emitidos como para los transmitidos por los emisores acústicos, se llevara a cabo en el punto de evaluación en que su valor sea más alto.

Es por ello que habrá que realizar unas medidas de control inicial (fase preliminar) para definir dicho punto, si no pudiera determinarse sin necesidad de medición.

3.4.2. Criterios de selección de los puntos de medida.

El Real Decreto 1367/2007 indica que se elegirán como mínimo tres posiciones discretas para determinar el punto de evaluación en el que se realizaran las mediciones correspondientes. Estas posiciones estarán distribuidas uniformemente en zonas del recinto donde las personas afectadas pasen preferiblemente más tiempo.

Para la selección de los puntos o zonas donde el nivel de ruido existente sea el más alto, bastara con hacer una inspección del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A utilizando un sonómetro integrador de mano.

Una vez determinadas las zonas con mayor nivel de ruido, para la selección de los puntos de medida se deberá tener en cuenta las siguientes condiciones básicas preferentes:

1. *Siempre que sea posible*: medir como mínimo en tres puntos distintos, cumpliendo:
 - a) Exista, al menos, 1 metro de distancia con las paredes y otras superficies susceptibles de generar reflexiones y falsear la medida.
 - b) Exista una altura de entre 1,2 m y 1,5 m sobre el suelo.
 - c) Exista una distancia de al menos 1,5 m respecto ventanas o aberturas de admisión de aire.

En la Figura 12, se puede observar un croquis de la posición de los puntos de medida.

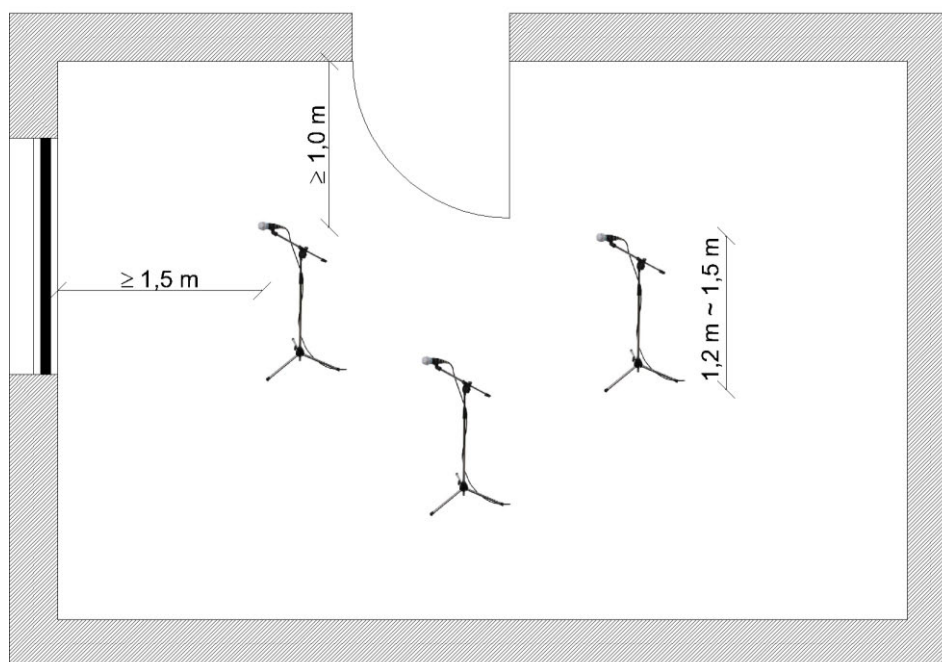


Figura 12. Croquis posiciones de micrófono.

2. Si no es posible: las mediciones se efectuarán en el centro del recinto, maximizando las distancias a elementos reflectantes, intentando tener en cuenta, en la medida de lo posible, la densidad y distribución de modos propios de la sala.

Las mediciones se realizarán con puertas y ventanas cerradas.

3.4.3. Duración de las medidas.

Se realizarán mínimo tres mediciones de L_{K_{eq}, T_i} con una duración mínima, en el punto de evaluación de máxima afección, de 5 segundos, por cada fase de ruido existente, con intervalos de tiempo mínimo entre medidas de 3 minutos.

Las medidas se considerarán válidas cuando la diferencia entre valores extremos sea menor o igual a 6 dBA. De no producirse, se deberá obtener una nueva serie de tres mediciones.

De reproducirse un valor muy diferenciado del resto, se estudiará su origen. Si se localiza, se deberá repetir las mediciones hasta cinco veces, de forma que el foco origen de dicho valor entre en funcionamiento durante los cinco segundos de duración de cada medición.

Como resultado de la medición, se tomara el valor más alto de los obtenidos. Valor que se redondeara incrementándolo en 0,5 dBA, tomando la parte entera como el valor resultante.

3.4.4. Condiciones de medición.

El Real Decreto 1367/2007 especifica una serie de consideraciones en la realización de las mediciones para la evaluación de los niveles sonoros, que deberán seguirse, y que guardaran las siguientes precauciones:

- a) Las condiciones de humedad y temperatura deberán ser compatibles con las especificaciones del fabricante del equipo de medida.
- b) La evaluación del ruido transmitido por un determinado emisor acústico en condiciones de lluvia en el exterior será especialmente crítica, teniéndose en cuenta para las mediciones en el interior, la influencia de la misma a la hora de determinar su validez en función de la diferencia entre los niveles a medir y el ruido de fondo, incluido en éste, el generado por la lluvia.
- c) Sera preceptivo que antes y después de cada medición, se realice una verificación acústica de la cadena de medición mediante un calibrador sonoro, que garantice un margen de desviación no superior a 0,3 dB respecto el valor de referencia inicial.

3.5. Cumplimiento de las exigencias normativas.

Una vez determinado el resultado de la medición se determinara la evaluación de conformidad según los siguientes valores límite.

3.5.1. Valores límite.

En la tabla B2 del Anexo III del Real Decreto 1367/2007 se explicitan los valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades, los cuales son los que se muestran en la Tabla. V.

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{K,d}$	$L_{K,e}$	$L_{K,n}$
Residencial	Zonas de estancias	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	35	35	35
	Oficinas	40	40	40
Sanitario	Zonas de estancia	40	40	30
	Dormitorios	35	35	25
Educativo o cultural	Aulas	35	35	35
	Salas de lectura	30	30	30

Tabla. V. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades.

En el artículo 25 del Real Decreto 1367/2007, para el cumplimiento de los valores límite de inmisión de ruido aplicable a los emisores acústicos respecto actividades, tenemos que:

- a) Ningún valor diario superará en 3 dB los valores fijados en la tabla B2 (Tabla. V del presente TFM) del Anexo III, quedando los límites de la siguiente manera, Tabla. VI:

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		$L_{K_{eq},d}$	$L_{K_{eq},e}$	$L_{K_{eq},n}$
Residencial	Zonas de estancias	≤ 43	≤ 43	≤ 33
	Dormitorios	≤ 38	≤ 38	≤ 28
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	≤ 38	≤ 38	≤ 38
	Oficinas	≤ 43	≤ 43	≤ 43
Sanitario	Zonas de estancia	≤ 43	≤ 43	≤ 33
	Dormitorios	≤ 38	≤ 38	≤ 28
Educativo o cultural	Aulas	≤ 38	≤ 38	≤ 38
	Salas de lectura	≤ 33	≤ 33	≤ 33

Tabla. VI. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades para un periodo temporal.

- b) Ningún valor medido del índice L_{K_{eq},T_i} superará en 5 dB los valores fijados en la tabla B2 (Tabla. V del presente TFM) del Anexo III, quedando los límites los mostrados en la Tabla. VII.

Uso del local colindante	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		<i>Día</i> $L_{Keg,Ti}$	<i>Tarde</i> $L_{Keg,Ti}$	<i>Noche</i> $L_{Keg,Ti}$
Residencial	Zonas de estancias	≤ 45	≤ 45	≤ 35
	Dormitorios	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	≤ 40	≤ 40	≤ 40
	Oficinas	≤ 45	≤ 45	≤ 45
Sanitario	Zonas de estancia	≤ 45	≤ 45	≤ 35
	Dormitorios	≤ 40	≤ 40	≤ 30
Educativo o cultural	Aulas	≤ 40	≤ 40	≤ 40
	Salas de lectura	≤ 35	≤ 35	≤ 35

Tabla. VII. Valores límite de ruido transmitido a locales colindantes por actividades para una fase de funcionamiento.

4

Procedimiento de medición para la fase preliminar

En este capítulo se describe el procedimiento desarrollado en la medición de los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,Ti}$, y obtención de los niveles máximos que compondrán la base de datos que posteriormente se analizarán estadísticamente y de la que se obtendrán resultados.

Se realizara una breve descripción de la instrumentación, ruido y estancias empleadas para realizar el trabajo.

4.1. Descripción del entorno de medida.

Para alcanzar el propósito de este Trabajo Fin de Master, se realizaron medidas en cinco habitaciones o estancias de distinto tamaño, dos pertenecientes a una vivienda (Salas B y D) y otras dos en un chalet (Salas A y C), como se puede ver en la Figura 13, así como en un aula de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de la UPM, concretamente en el aula D8401 (Sala E).



Figura 13. Ubicación Salas A, B, C, D.

A continuación se realiza una breve descripción de los recintos utilizados.

Sala A

Consiste en un dormitorio con una superficie aproximada de $14,8 \text{ m}^2$ y un volumen de $38,5 \text{ m}^3$. Con tabiquería interior compuesta por ladrillo hueco doble, enlucido de yeso de 1 cm y pintura al gotelé. Ventana abatible de madera con cristal simple. En la Figura 14 se observa un croquis de la estancia. La habitación esta amueblada con diversos muebles.

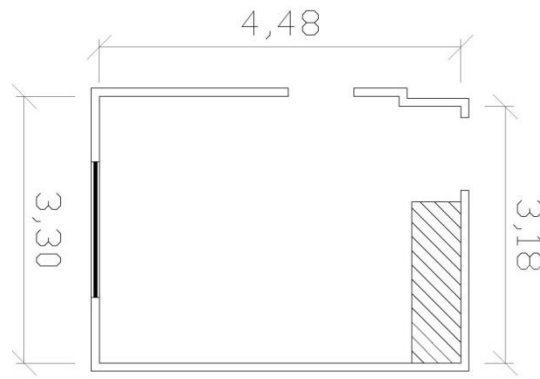


Figura 14. Croquis Sala A.

Sala B

En la Figura 15 se puede observar un croquis de la habitación, con una superficie y volumen aproximado de $9,5 \text{ m}^2$ y $21,7 \text{ m}^3$ respectivamente. Con tabiquería interior de ladrillo hueco doble, capa de 1 cm de enlucido de yeso y pintura plástica lisa. Ventana de carpintería de aluminio con cristal doble 4/6/4. La habitación solo dispone de una cama simple.

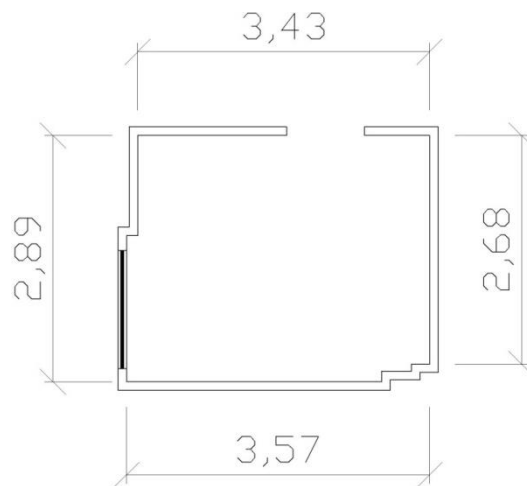


Figura 15. Croquis Sala B.

Sala C

Habitación dormitorio con una superficie aproximada de $10,3 \text{ m}^2$ y un volumen de $26,7 \text{ m}^3$ y planta rectangular como se puede observar en la Figura 16. Con tabiquería interior compuesta por ladrillo hueco doble, enlucido de yeso de 1 cm y pintura al gotelé. Ventana abatible de madera con cristal simple. Habitación con diverso mobiliario (armario, cama, estantería, cortinas,...).

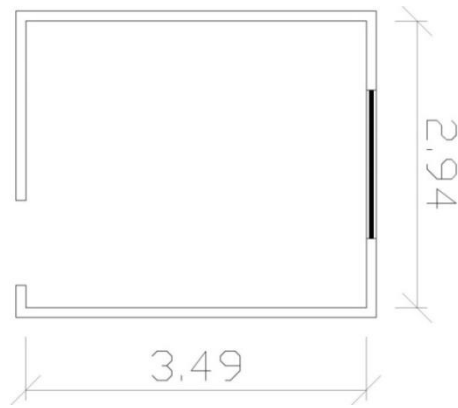


Figura 16. Croquis Sala C.

Sala D

Habitación compuesta por ladrillo hueco doble, enlucido de yeso de 1 cm de grosor y pintura acrílica lisa, ventana compuesta por carpintería de aluminio con cristal doble 4/6/4 y puerta de madera maciza. Con una superficie de $14,9 \text{ m}^2$ y volumen de $34,25 \text{ m}^3$, Figura 17. La habitación está completamente vacía, no disponiendo ni de mobiliario ni cortinas.

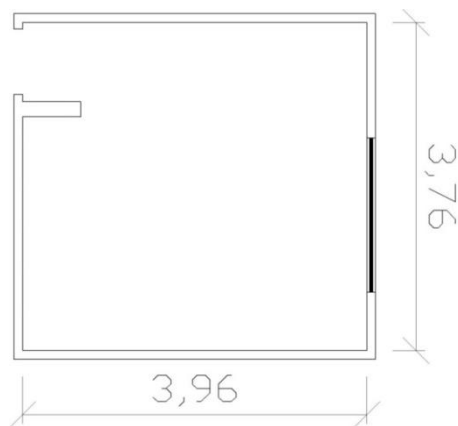


Figura 17. Croquis Sala D.

Sala E

Aula D8401 perteneciente a la EUITT, Figura 18, con una superficie de 55 m^2 y un volumen aproximado de 137 m^3 . Es la estancia de mayores dimensiones de todas las empleadas para realizar el trabajo.

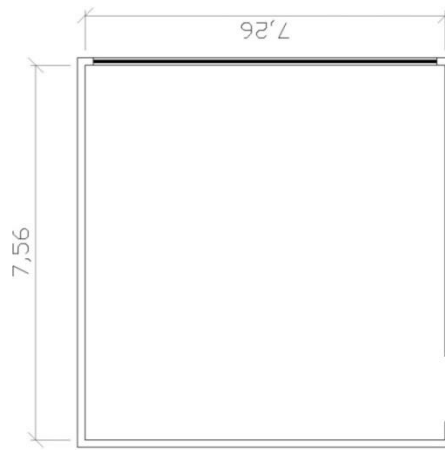


Figura 18. Croquis Sala E.

4.2. Señal de excitación empleada.

Las medidas se llevaron a cabo, excitando las estancias, con tres ruidos industriales distintos, grabados en formato digital, con características diferentes.

A continuación se detalla cada uno de los ruidos, analizando tanto su historia temporal como su evolución espectral a la salida de la tarjeta de sonido del ordenador, antes de ser emitidos por la fuente.

Ruido 01

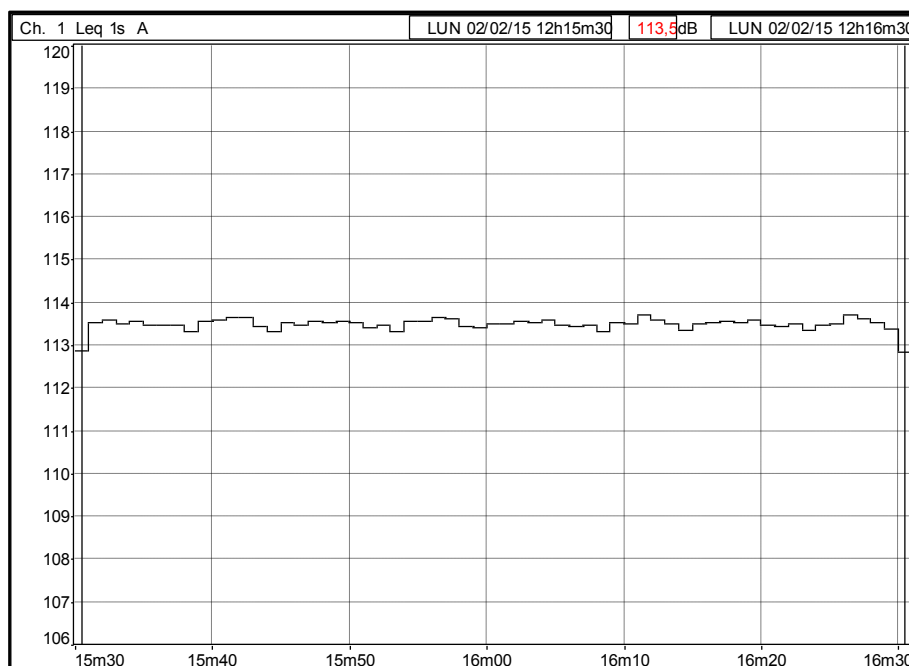


Figura 19. Evolución temporal Ruido 01.

Como se puede observar en la Figura 19, consiste en un ruido uniforme, no existiendo diferencias de nivel entre valores máximos y mínimos destacables, en torno a $\pm 0,2$ dBA. Presenta una periodicidad cada 15 segundos como se puede apreciar en el detalle de la evolución temporal de la Figura 20.

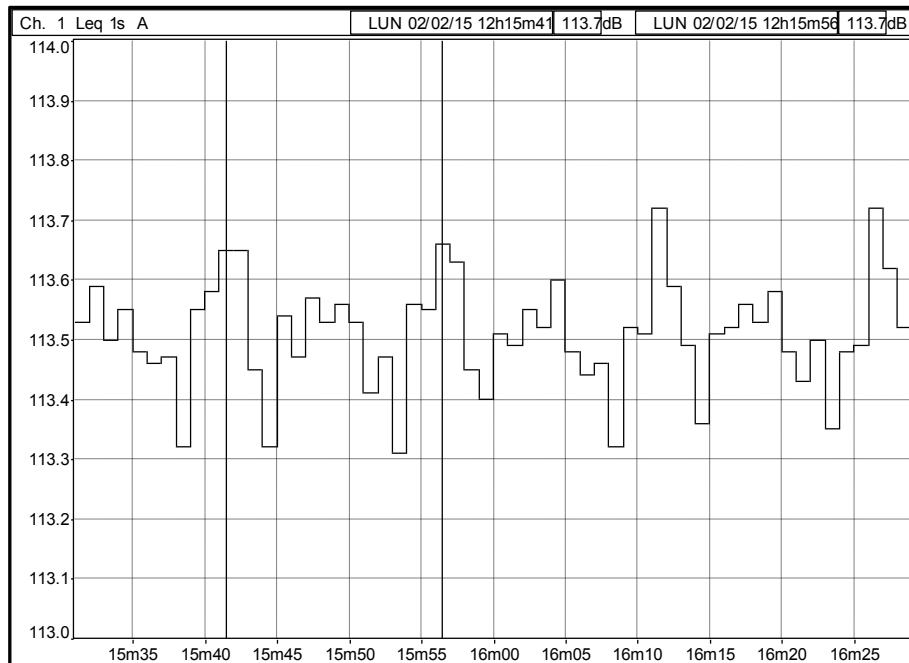


Figura 20. Detalle evolución temporal Ruido 01.

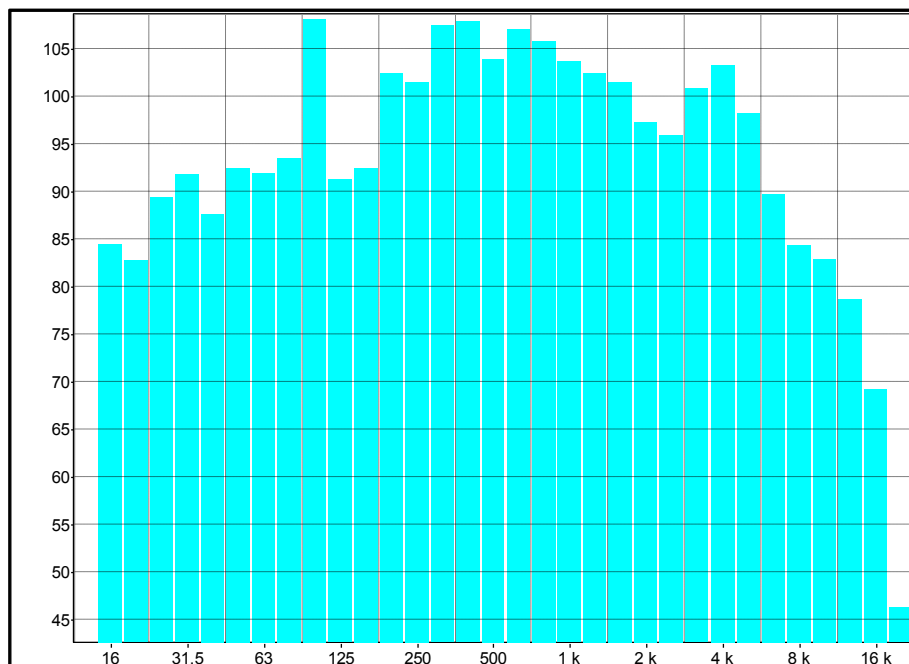


Figura 21. Espectro promedio de 15 segundos de la evolución temporal del Ruido 01.

En la Figura 21, que representa el espectro promedio, se puede observar como el ruido presenta una componente tonal muy clara a 100 Hz.

Ruido 02

En la evolución temporal de la Figura 22 se observa que es un ruido uniforme o continuo, no existiendo diferencias entre valores extremos mayores a ± 0.3 dBA, como se puede observar en el detalle de la evolución temporal de la Figura 23. El ruido presenta una periodicidad cada 15 segundos.

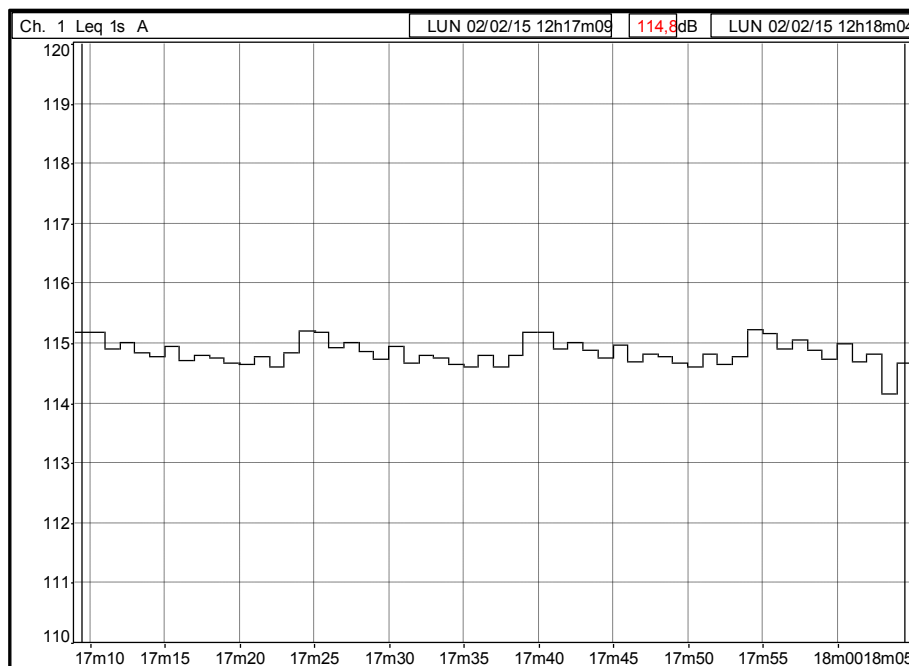


Figura 22. Evolución temporal Ruido 02.

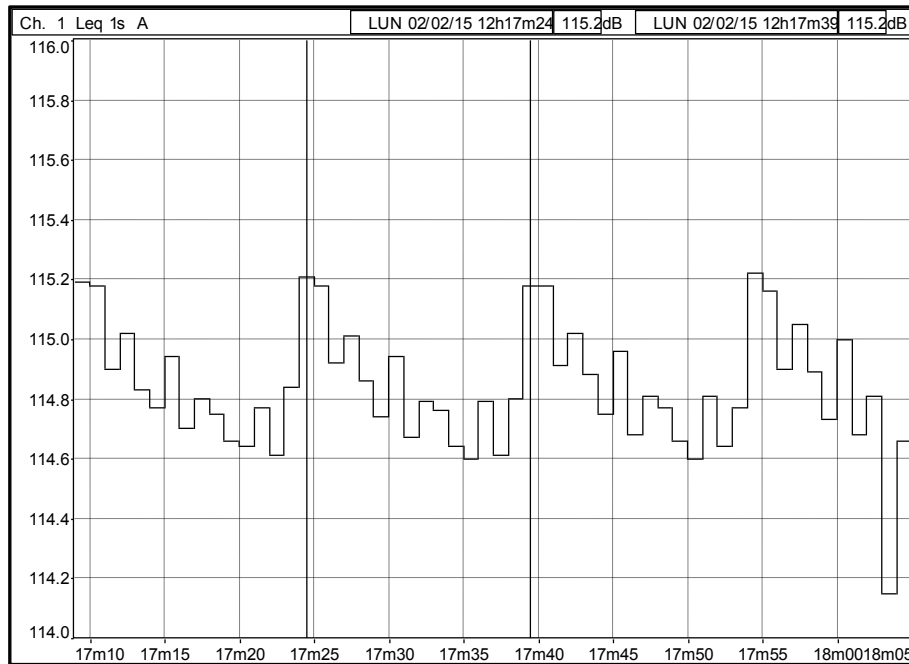


Figura 23. Detalle evolucion temporal Ruido 02.

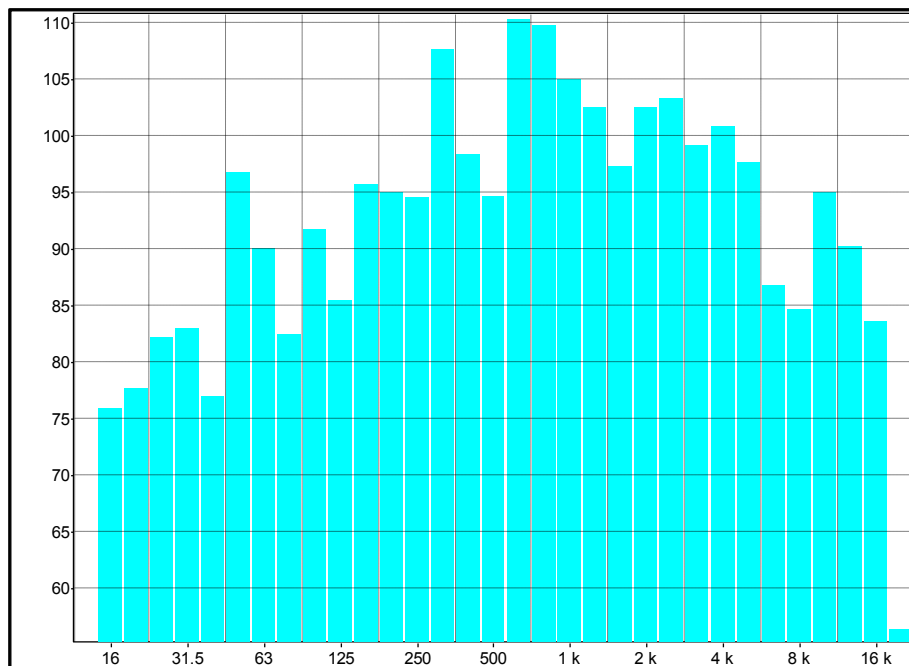


Figura 24. Espectro promedio de 15 segundos de la evolución temporal del Ruido 02.

Como se aprecia en la Figura 24 este ruido de espectro muy ancho presenta como mínimo dos componentes tonales, a 50 Hz y 315 Hz, con la posibilidad de una tercera a 10 kHz.

Ruido 03

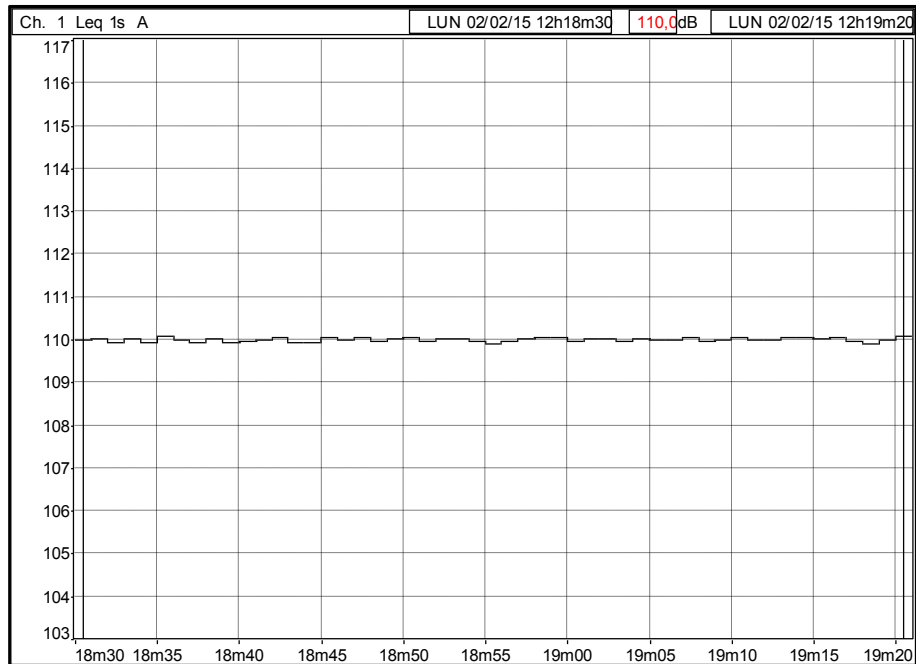


Figura 25. Evolucion temporal Ruido 03.

Al igual que los anteriores ruidos analizados, el Ruido 03 consiste en un ruido uniforme o continuo. En la Figura 25 se muestra su evolución temporal.

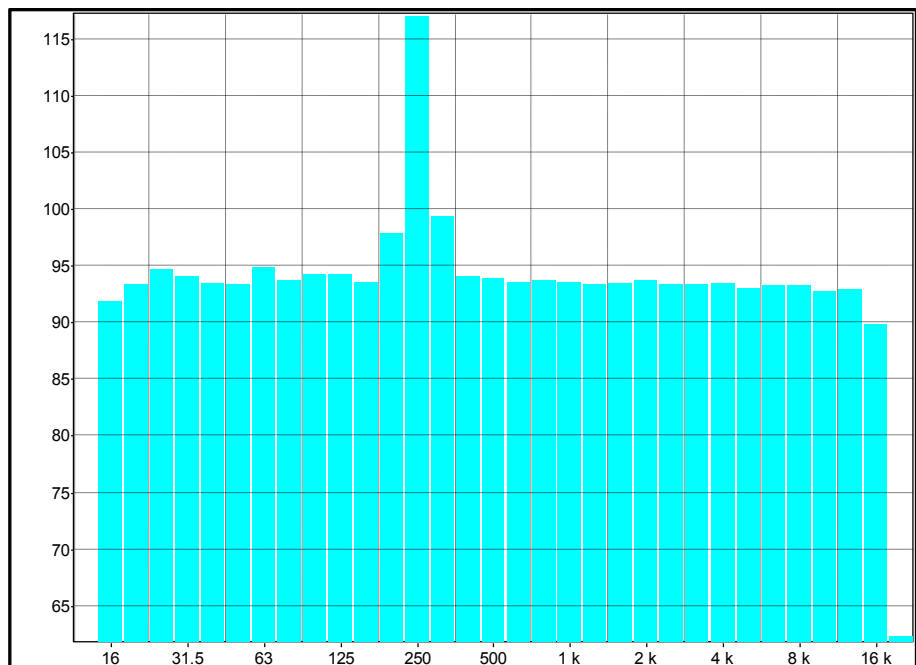


Figura 26. Espectro promedio de Ruido 03.

Como se puede observar en la evolución espectral de la Figura 26 la señal es un ruido rosa con una componente tonal a 250 Hz.

4.3. Equipamiento empleado.

En la Tabla. VIII se detalla el equipo empleado en este proyecto para la realización de las medidas *in situ*.

Equipo	Marca	Modelo	Nº de serie
Micrófono prepolarizado de campo libre	G.R.A.S.	40AF	24126
Preamplificador	G.R.A.S.	26AK	28103
Sistema de medida	01 dB	Symphonie	1386
Calibrador	Álava Ingenieros	Cal01	11663
Fuente sonora autoamplificada	JBL 300Series	315	VTP0892-08690
Reproductor de cd/Portatil	ASUS		
Medidor Laser	Leica		
PC	Toshiba		
Pie de micrófono			
Cinta métrica			

Tabla. VIII. Instrumentación.

Además de la instrumentación mostrada para realizar la toma de medidas *in situ*, es necesario el empleo de varios softwares informáticos para llevar a cabo el posterior procesado y análisis de datos. A continuación se detallan cada uno de los programas utilizados:

- dBTrig32.

Programa que se utiliza para la adquisición de las señales, su procesado, visualización y almacenamiento. Se puede elegir el formato de los datos que se desean almacenar: espectro, evoluciones temporales, niveles de pico, señal de audio, etc.

- dBTrait32.

Este programa se utiliza para procesar los datos almacenados. Permite obtener las evoluciones temporales de determinadas bandas de frecuencias, espectros instantáneos o promediados en intervalos de tiempo, cálculo del nivel continuo equivalente de intervalo determinado y otras estadísticas. Se puede transferir datos a hojas de cálculo de forma sencilla.

- STATGRAPHICS Centurion XV Version 15.2.06.

Software diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos.

El cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, análisis de regresión, análisis multivariantes, así como diversas técnicas aplicadas en Control de Calidad, son algunas de las herramientas que tiene el programa.

- Excel.

Software que permite crear tablas, además de calcular y analizar datos.

4.4. Montaje de la instrumentación.

El diagrama de conexión de la instrumentación necesaria para la adquisición y almacenamiento de datos in situ es el que se muestra en la Figura 27.

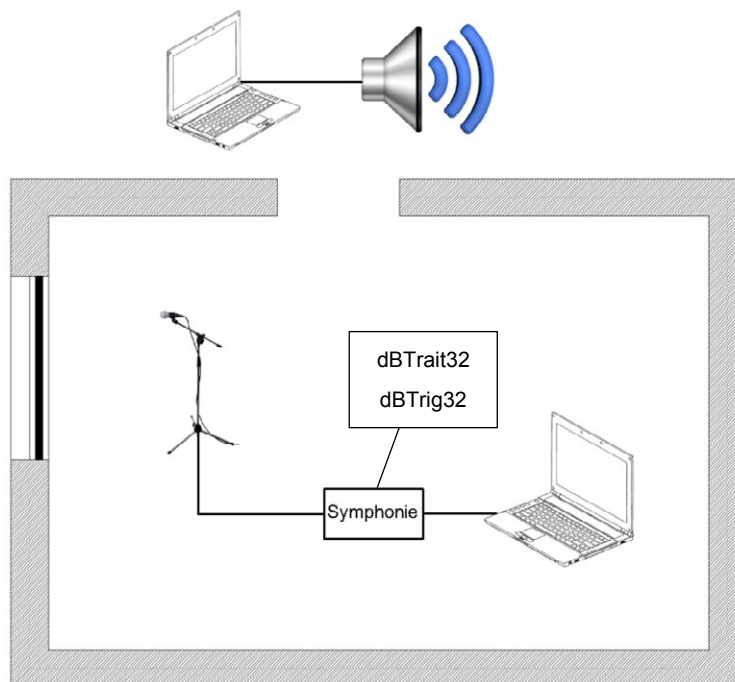


Figura 27. Diagrama de montaje.

4.5. Metodología de medición.

Definido el entono de medida, el ruido a emplear y la instrumentación necesaria, el siguiente apartado es definir los puntos de medida y describir el procedimiento llevado a cabo para realizar las mediciones y obtener los datos.

4.5.1. Altura y Puntos de medida.

Para llevar a cabo el muestreo espacial y teniendo en cuenta los criterios de selección de los puntos de medida indicados en el punto 3.4.2, se creara una malla cuadrilátera, con una distancia entre puntos de 0,3 m, como se muestra en la Figura 28.

En las estancias de menor superficie se ubicara otro punto auxiliar dentro de cada uno de los cuadrados generados en la malla, con el objetivo de tener suficientes datos de análisis y poder obtener conclusiones al respecto.

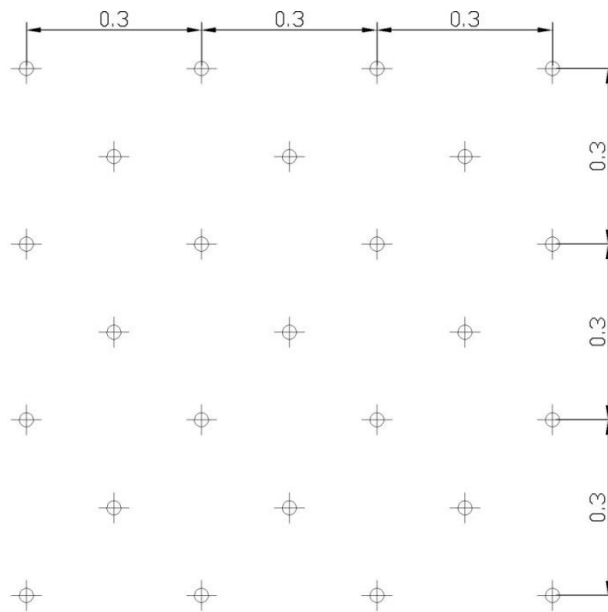


Figura 28. Croquis ubicación puntos de medida.

En la imagen siguiente (Figura 29), como ejemplo, se muestra la malla establecida en la Sala D (Imagen izquierda) y en la Sala C (Imagen derecha).

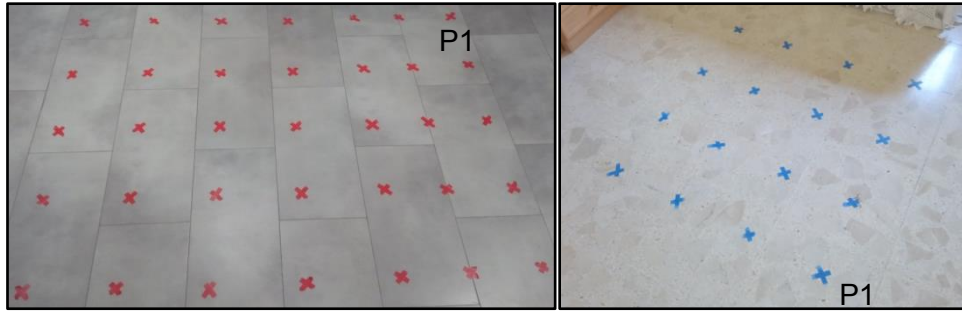


Figura 29. Malla de los puntos de medida.

Comentar que en la Sala E, al resultar ser una sala de grandes dimensiones, los puntos de la malla se establecieron a una distancia de 0,7 m.

La altura del punto de medida, se situara a 1,4 m sobre el nivel del suelo, manteniendo una distancia con respecto al techo, mayor a 1,2 m.

4.5.2. Procedimiento en la toma de medidas.

Visto el equipamiento necesario para la realización de las medidas así como las características de la fuente y los puntos de medida escogidos, se procede a describir el procedimiento seguido para la obtención de estas.

4.5.2.1. Realización de los registros "in situ".

La medición, en cada uno de los puntos de la malla, del nivel continuo equivalente, L_{Aeq} , se realizara mediante el software dBTrig32, integrado en la plataforma del sistema de medida Symphonie.

La fuente empleada para simular los ruidos se colocara en las proximidades de la puerta de acceso a las estancias, como se puede ver en la Figura 30.



Figura 30. Posición de la fuente.

El primer paso, antes de realizar las medidas, una vez abierto el programa, es configurar el hardware y establecer los parámetros de medida y almacenamiento.

Para acceder a la ventana de configuración de parámetros se ha de seleccionar el icono marcado en color rojo de la Figura 31. A continuación se selecciona el icono de medida y posteriormente el de almacenamiento, abriéndose las ventanas correspondientes, como se muestra en la Figura 32.



Figura 31. Configuración de los parámetros dBTrig32.

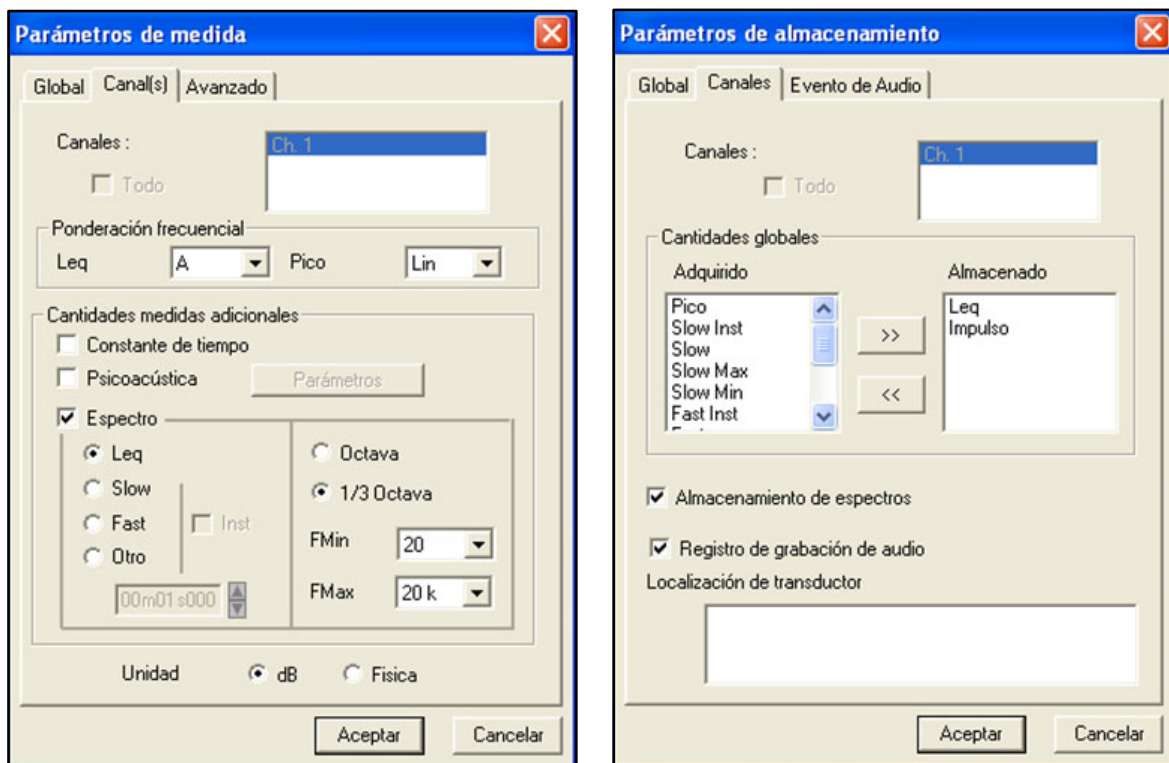


Figura 32. Configuración de los parámetros de medida y almacenamiento.

Los parámetros a configurar en las ventanas correspondientes, son los siguientes:


- Base de tiempo: 1s
- Ponderación frecuencial: LAeq
- Espectro: Leq
- Bandas de 1/3 octava de 20 Hz – 10000 Hz
- Cantidades globales: Leq e Impulso. Para poder seleccionar la cantidad global Impulso es necesario marcar la casilla de *Constante de tiempo* en la ventana de parámetros de medida.
- Almacenamiento de espectros

Una vez configurado los parámetros, y establecido un rango dinámico entre 30-100 dB hay que verificar el sistema por medio del calibrador.

Verificado el sistema se procede a la toma de medidas. Para ello, una vez encendida la fuente emitiendo ruido, con el micrófono ubicado en el primer punto, se



comienza la medición mediante el icono durante una duración aproximada de 20 segundos. Finalizado el primer punto, se pulsa el botón de pausa, se cambia el micrófono de punto, y se vuelve a dar al botón de pausa para reanudar la medida.

Este proceso se realiza en cada uno de los puntos de la malla. Una vez realizada la medida en todos los puntos hay que dar al botón de parar  y guardar la medida.

La medida se almacenara en un archivo con extensión o formato *.cmg* que posteriormente será procesado por medio del programa dBTrait32, para obtener los parámetros necesarios: $L_{Aeq,5s}$, *espectros...*

4.5.2.2. Análisis y obtención de datos a partir de los ficheros de niveles: dBTrait32.

Para analizar y obtener datos de los archivos de niveles se utiliza el software dBTrait32.

El software permite descargar las medidas y mostrar la historia temporal, espectros y multiespectros en periodos definidos por el usuario.

Permite numerosos análisis, tanto en tiempo como en frecuencia: resultados Leq global, análisis estadísticos de periodos de tiempo seleccionables, distribuciones acumulativas y de probabilidad, índices definidos por el usuario, definición del periodo más ruidoso y más silencioso, etc. Por último, dBTrait32 exporta los datos a software compatible (MsWord/Excel).

El procedimiento a realizar es el que se expone a continuación:

Una vez abierto el programa dBTrait32 con el archivo .cmg, se selecciona el icono de evolución espectral, recuadro rojo en la Figura 33, abriéndose una nueva ventana, *Evolución del espectro*, donde habrá que marcar la opción *Leq entre cursores* para a continuación darle a *OK*, como se observa en la Figura 34



Figura 33. Barra de herramientas dBTrait32 (I).

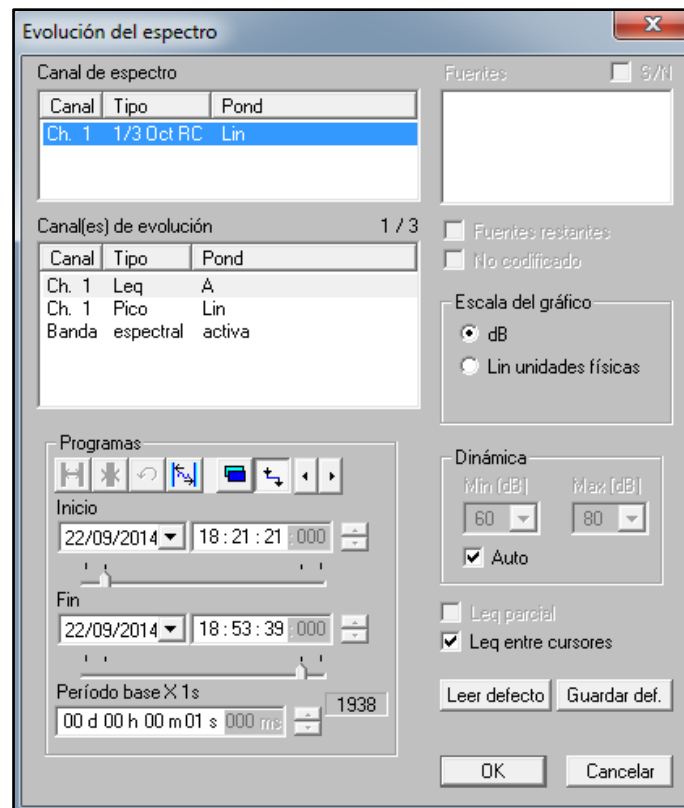


Figura 34. Ventana de configuración *Evolución del espectro*.

Se abrirá una nueva ventana en cuya parte superior se muestra el histograma de frecuencias y en la parte inferior la evolución temporal, como se puede ver en la Figura 35.

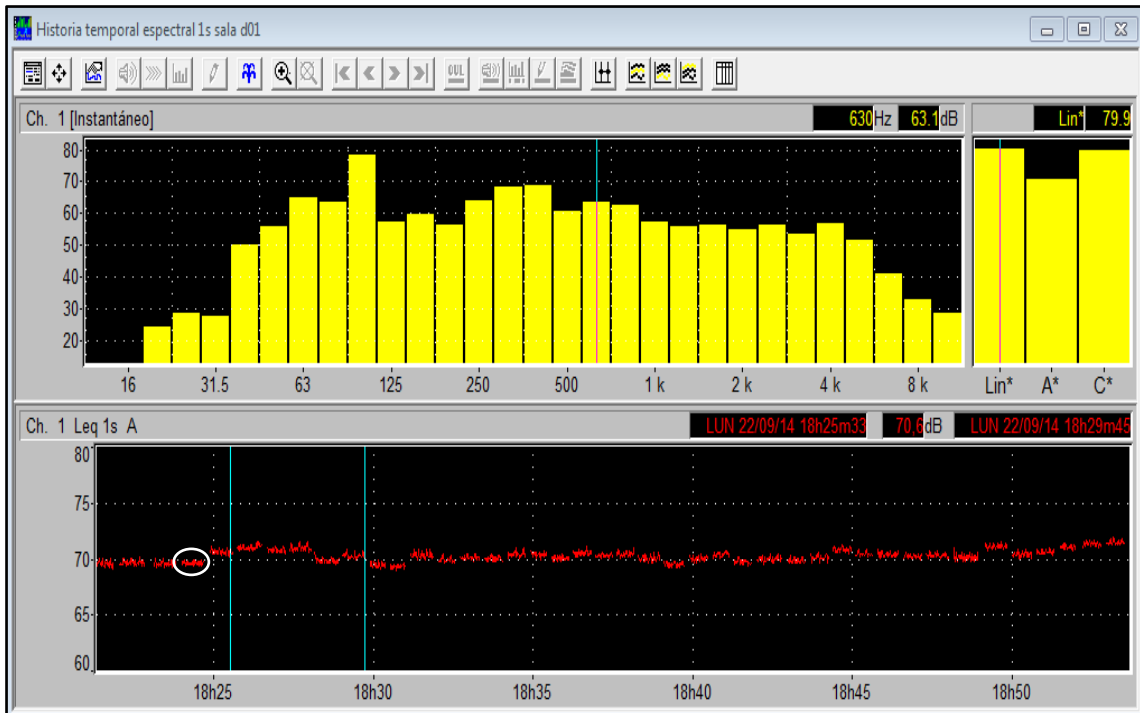


Figura 35. Venta historia temporal espectral.

Centrándose en la ventana de la evolución temporal, se puede observar como cada punto de medida corresponde a un tramo en la ventana de evolución temporal (circulo blanco).

Como se ha comentado, la duración de medida en cada uno de los puntos es de 20 segundos, es por ello que para determinar el nivel continuo equivalente máximo en 5 segundos se realizara el siguiente desarrollo:

Haciendo uso del botón de *cursores enlazados*, cuadrado rojo en la Figura 36, se colocara el cursor izquierdo al principio de la señal y el cursor derecho al final de la señal, como se muestra en la Figura 37.



Figura 36. Barra de herramientas dBTrait32 (II).

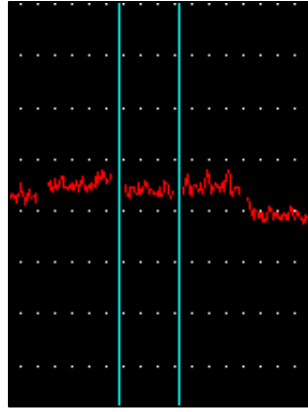



Figura 37. Detalle evolucion temporal.

A continuación hay que pulsar el botón de Zoom + , como se puede observar en el cuadrado azul de la Figura 36, abriéndose una nueva ventana, en la que se puede ver la evolución temporal de la medida en ese punto concreto, Figura 38.

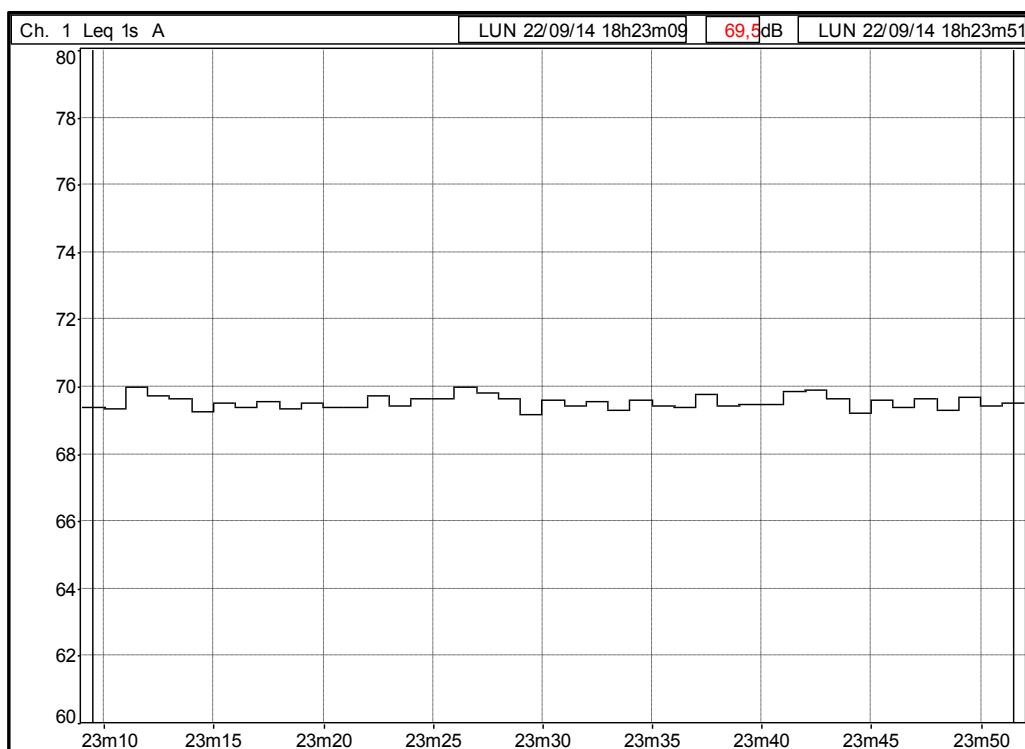


Figura 38. Evolucion temporal en un punto de medida.

El siguiente paso es determinar el nivel, L_{Aeq} máximo en 5 segundos. Para ello, y volviendo a hacer uso de los cursores enlazados, se establecerá una distancia temporal entre ellos de 5 segundos, para posteriormente ir desplazándose por toda la

señal observando el nivel entre cursores, según se muestra en el recuadro negro de la Figura 39.

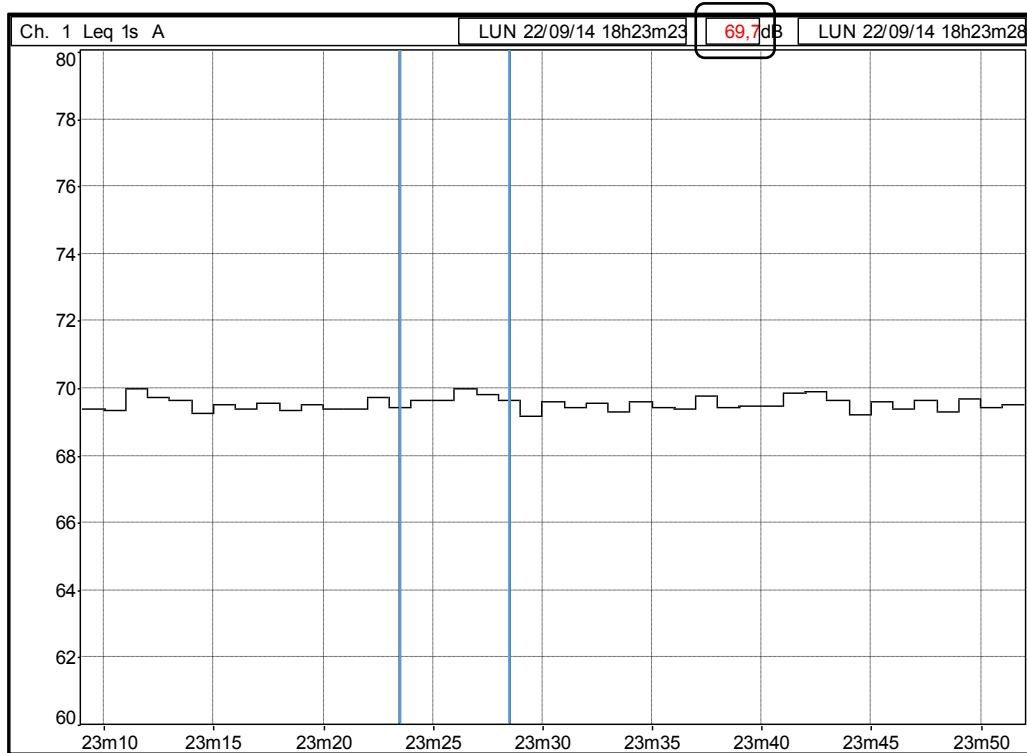





Figura 39. Valor de $L_{Aeq,5s}$.

Obtenido el nivel máximo el siguiente paso es pulsar el botón de *espectro promediado*  y finalmente exportar los resultados. Para ello, se selecciona la opción de listado, mediante el botón  (*Listar espectros*) ubicado en la barra de herramientas. Aparecerá la ventana de *Tabla de niveles Leq y Ln globales*. Para seleccionar los valores a listar necesarios se pulsará el botón  (*Parámetros de listado*), mostrándose la ventana de la Figura 40, donde se seleccionaran todos los *Canales*, y Leq en *Valores a listar*.

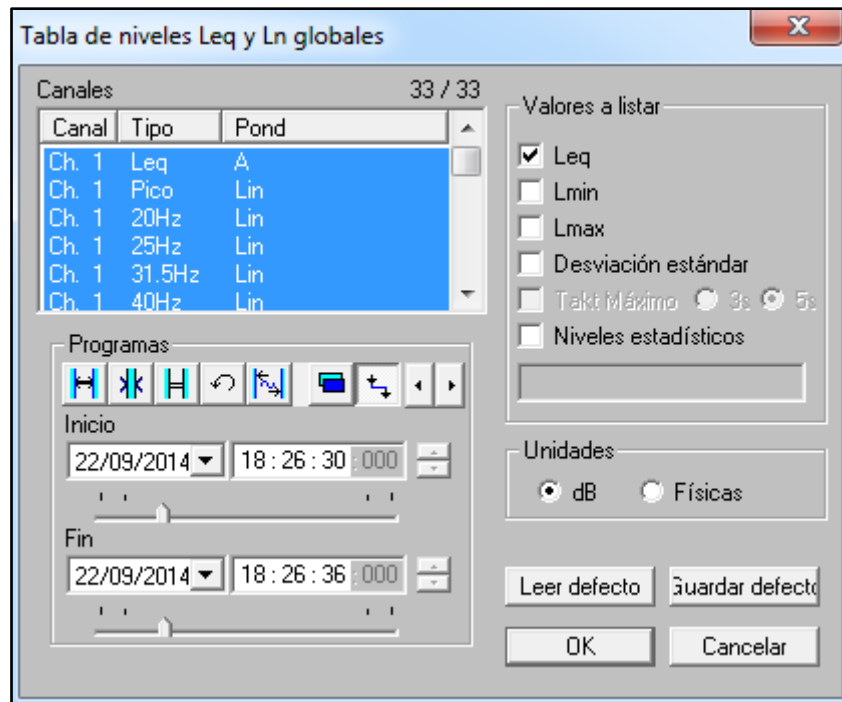



Figura 40. Tabla de niveles Leq.

Finalmente, se copiara el listado, como valores, para posteriormente pegarlo en una hoja de cálculo Excel.

Este procedimiento se ejecutara con cada uno de los puntos de medida, obteniendo el conjunto de datos o población.

4.6. Datos obtenidos de $L_{Aeq,5s}$

En este apartado se muestra mediante tablas los valores obtenidos en cada una de las salas, excitadas con cada uno de los ruidos.

Además, se incluye una representación gráfica de superficie de la distribución espacial de los niveles máximos de $L_{Aeq,5s}$ en el recinto. Pudiendo observar como el nivel no es uniforme, sino que va variando aleatoriamente según el punto de medida. La imagen  representa la posición de la fuente.

4.6.1. Sala A.

En la Tabla. IX se muestran los datos obtenidos en la sala A, para cada uno de los ruidos empleados.

		L _{Aeq,5s} (dBA)				
Sala A	Ruido 01	72,0	71,9	71,7	71,4	71,9
		71,7	72,7	72,6	72,1	72,0
		72,1	72,0	71,0	71,1	71,1
		72,0	71,7	71,0	70,8	70,4
		72,3	71,3	70,9	71,6	71,7
		71,9	71,6	71,2	70,4	71,1
		72,2	71,9	70,8	72,0	
		72,2	72,5	72,0	71,4	
		71,2	70,7	70,1	70,5	
		72,2	70,8	71,0	71,3	
	Ruido 02	70,7	69,3	68,7	70,3	72,0
		69,5	69,4	68,5	69,3	70,7
		70,4	69,3	68,2	70,0	69,2
		68,7	68,3	69,2	69,3	68,2
		70,4	69,1	69,9	70,1	69,6
		70,3	70,3	70,0	70,3	70,0
		70,0	68,7	68,5	70,9	
		70,7	70,1	68,6	70,0	
		69,2	68,6	68,3	68,9	
		69,3	69,1	70,2	69,8	
	Ruido 03	61,4	61,4	61,7	60,8	60,3
		61,3	61,1	60,5	60,1	60,3
		61,9	61,4	60,5	60,1	59,8
		61,6	61,6	61,2	60,5	59,7
		61,4	60,5	60,6	60,1	60,3
		60,4	60,5	60,2	60,1	60,6
		60,9	61,4	61,2	60,6	
		61,5	60,8	60,2	60,2	
		61,9	61,2	60,6	59,9	
		61,3	60,5	60,2	60,2	

Tabla. IX. Valores de L_{Aeq,5s} en la Sala A.

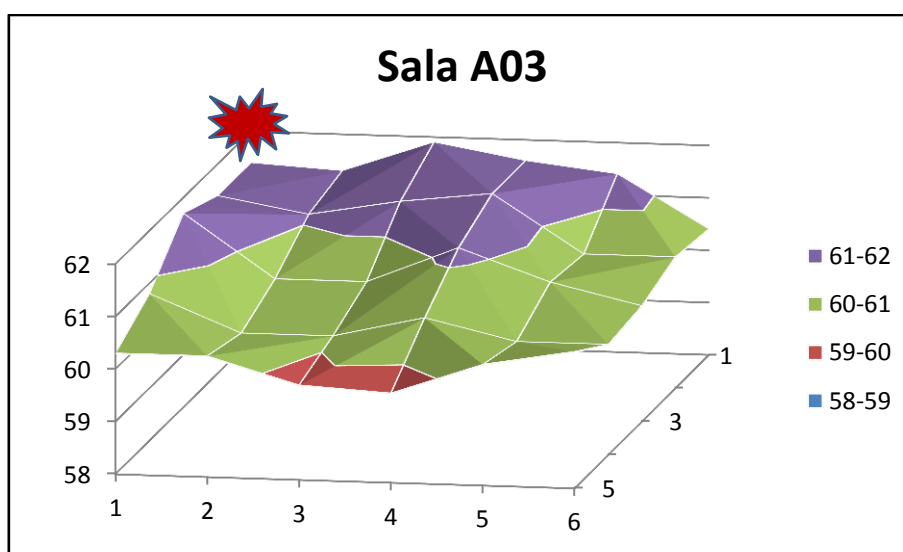
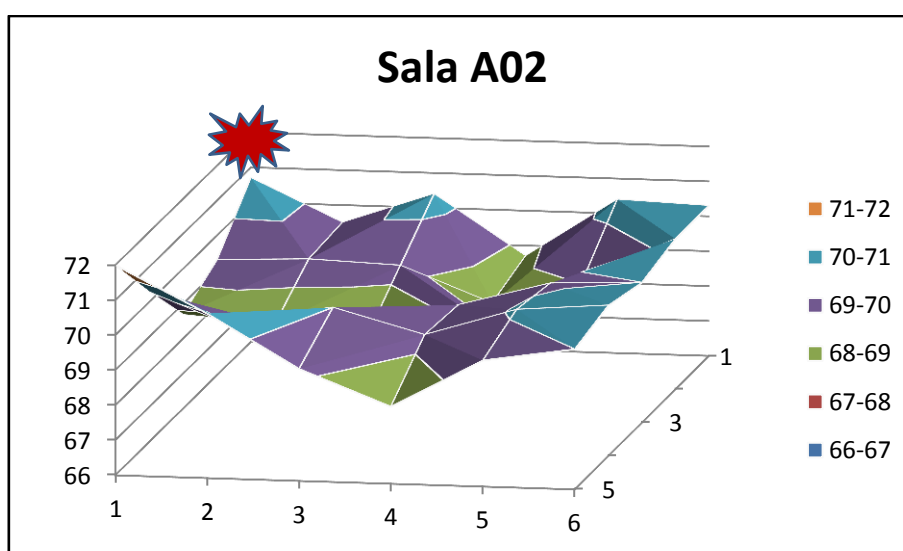
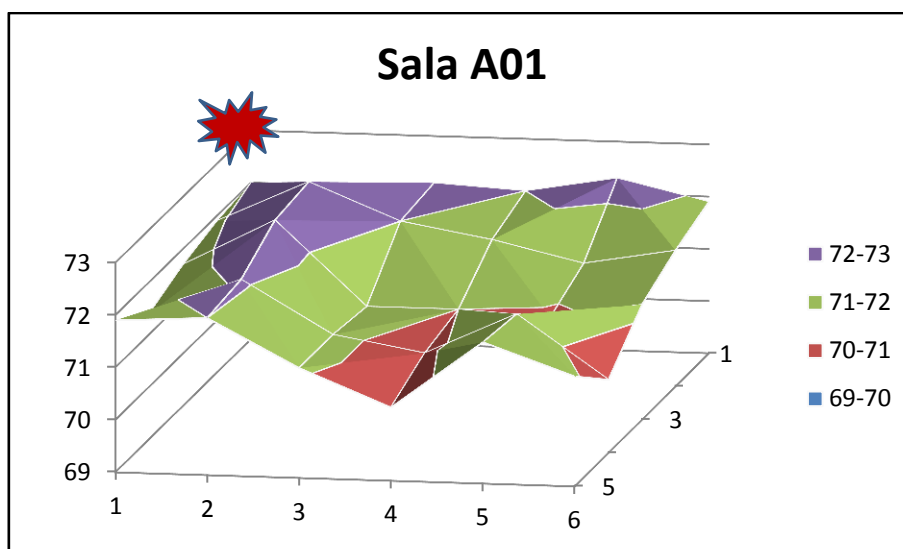


Figura 41. Representación gráfica de niveles en la Sala A para cada ruido.

4.6.2. Sala B.

En la Tabla. X se muestran los datos obtenidos en la sala B, para cada uno de los ruidos empleados.

		L _{Aeq,5s} (dBA)				
Sala B	Ruido 01	63,9	65,6	67,3	68,0	67,0
		63,4	64,9	66,5	67,4	66,6
		64,2	65,5	66,0	65,8	65,5
		63,7	64,0	64,1	63,7	63,5
		65,7	67,7	67,9		
		65,7	66,9	66,8		
		64,5	65,3	64,8		
	Ruido 02	65,3	65,9	66,0	64,4	66,3
		64,7	66,4	66,4	66,0	64,0
		64,4	64,5	64,6	67,3	67,1
		65,3	66,0	66,8	65,4	68,2
		66,7	65,4	66,8		
		64,7	66,1	64,7		
		65,7	65,2	65,7		
	Ruido 03	54,4	57,7	60,9	59,4	54,9
		61,4	63,4	66,1	65,7	63,2
		61,0	61,7	64,9	64,0	59,6
		58,5	54,8	54,7	50,8	59,1
		61,8	64,3	61,8		
		64,4	66,7	65,2		
		59,0	61,6	57,3		

Tabla. X. Valores de L_{Aeq,5s} en la Sala B.

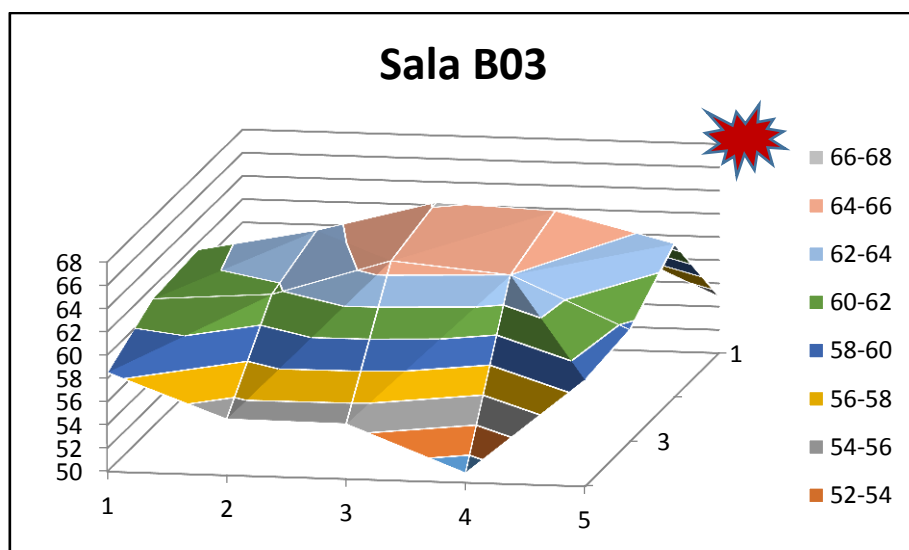
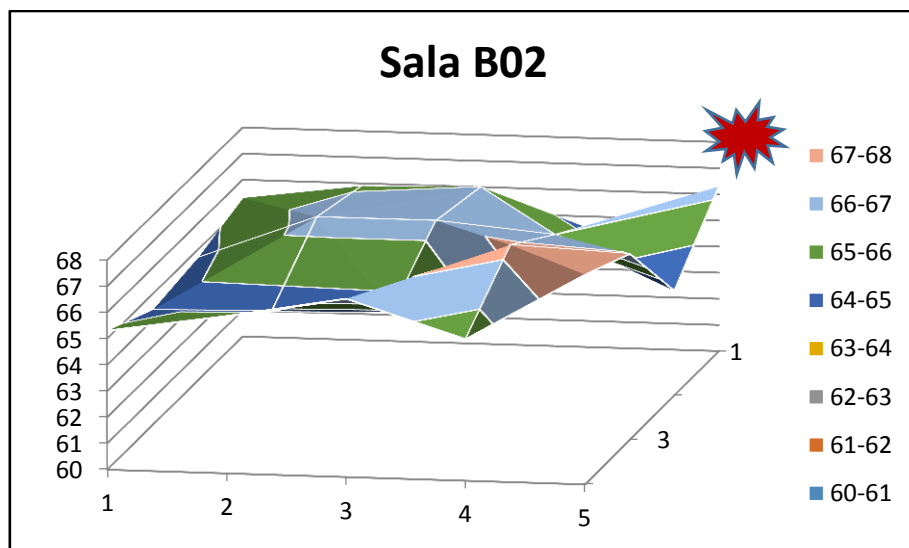
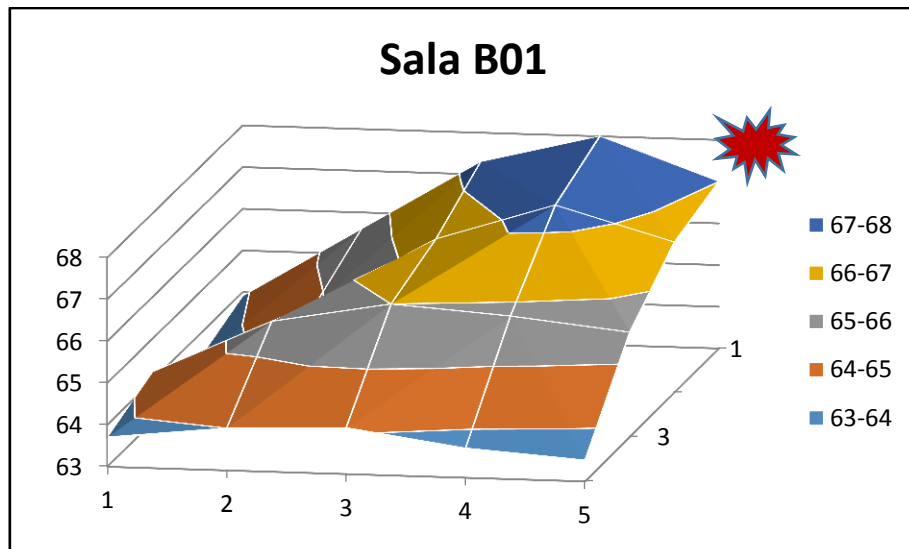


Figura 42. Representación gráfica de niveles en la Sala B para cada ruido.

4.6.3. Sala C.

En la Tabla. XI se muestran los datos obtenidos en la sala C, para cada uno de los ruidos empleados.

		L _{Aeq,5s} (dBA)			
Sala C	Ruido 01	69,5	69,9	69,5	69,1
		69,7	69,8	69,1	68,3
		68,3	69,2	68,2	68,6
		68,4	68,5	67,9	68,3
		69,5	69,8	69,0	
		69,2	70,0	68,4	
		68,2	68,8	68,5	
	Ruido 02	65,9	67,2	68,4	65,1
		68,0	66,5	65,6	65,4
		67,4	67,5	66,7	65,6
		65,3	66,1	65,9	66,0
		67,1	67,2	66,4	
		65,6	68,2	63,6	
		66,6	68,5	67,6	
	Ruido 03	62,2	62,0	61,8	61,8
		61,7	62,7	62,8	61,4
		61,9	63,2	61,0	60,5
		60,9	61,1	60,1	61,5
		61,3	62,3	62,1	
		62,6	63,5	61,8	
		61,7	62,0	60,5	

Tabla. XI. Valores de L_{Aeq,5s} en la Sala C.

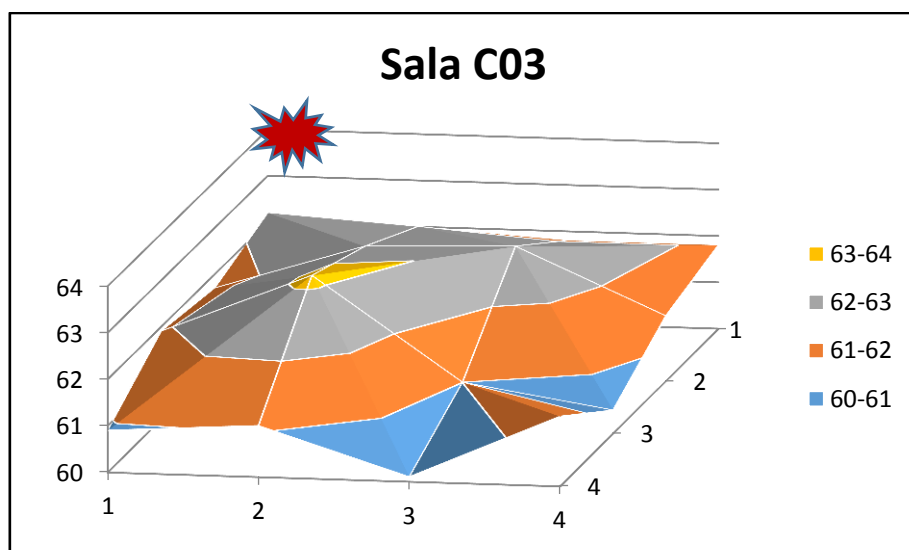
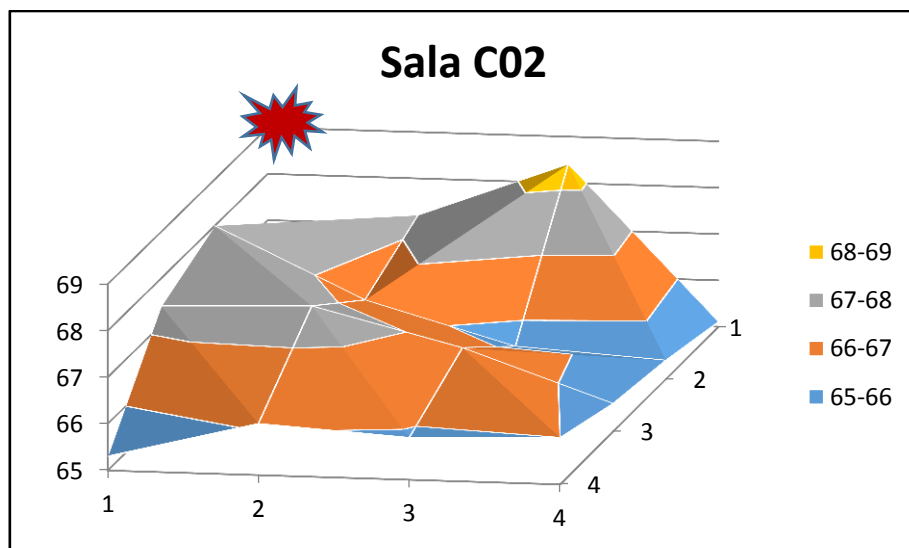
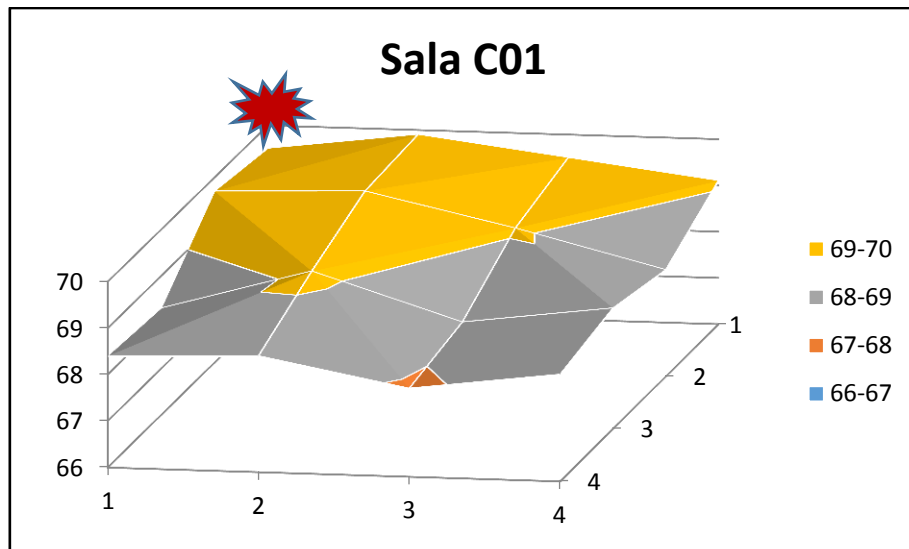


Figura 43. Representación gráfica de niveles en la Sala C para cada ruido.

4.6.4. Sala D.

En la Tabla. XII se muestran los datos obtenidos en la sala D, para cada uno de los ruidos empleados.

		L_{Aeq,5s} (dBA)						
Sala D	Ruido 01	69,7	69,4	70,4	69,6	70,1	70,1	71,1
		69,8	69,5	70,0	70,1	70,5	70,3	70,5
		69,6	70,3	70,2	70,5	69,8	70,2	70,6
		69,6	70,0	70,1	70,4	70,1	70,4	71,1
		70,7	71,2	70,6	70,5	69,9	70,5	71,4
		71,0	70,9	70,4	70,1	70,2	70,9	71,4
	Ruido 02	65,8	65,8	66,0	66,0	67,1	66,2	65,8
		65,3	66,0	67,0	68,7	66,8	66,1	69,9
		66,9	65,8	66,9	67,4	65,5	67,5	66,9
		67,4	65,1	67,8	66,9	65,1	66,3	66,8
		67,4	66,5	68,4	66,9	66,0	67,4	66,7
		65,0	65,5	65,2	66,1	66,9	65,3	67,1
	Ruido 03	67,3	67,1	62,2	62,7	62,3	65,1	67,4
		62,9	61,4	67,8	71,1	68,3	65,8	70,3
		66,8	69,0	72,7	74,5	72,6	69,6	72,2
		71,1	71,8	72,8	73,2	72,1	71,0	73,2
		71,7	70,8	68,0	65,2	66,8	69,8	72,2
		68,2	65,4	62,5	65,0	68,2	68,8	69,4

Tabla. XII. Valores de L_{Aeq,5s} en la Sala D.

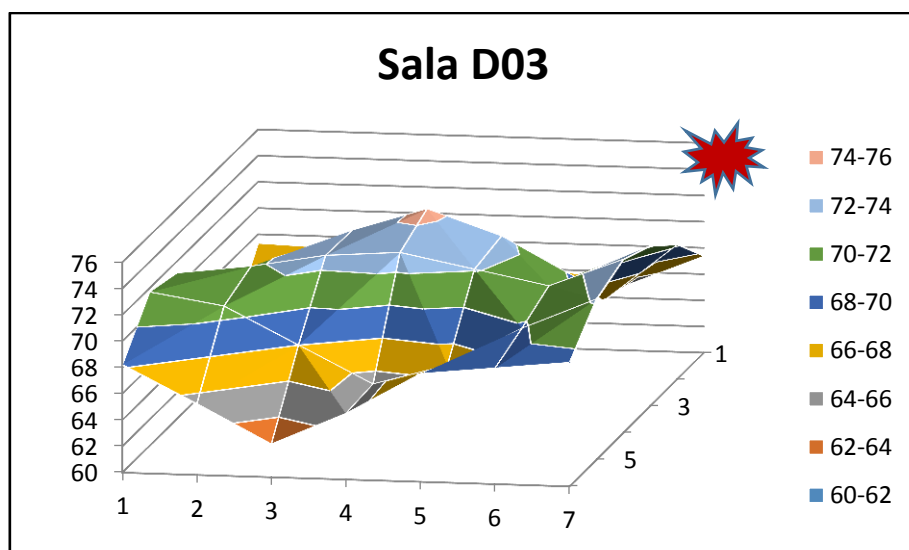
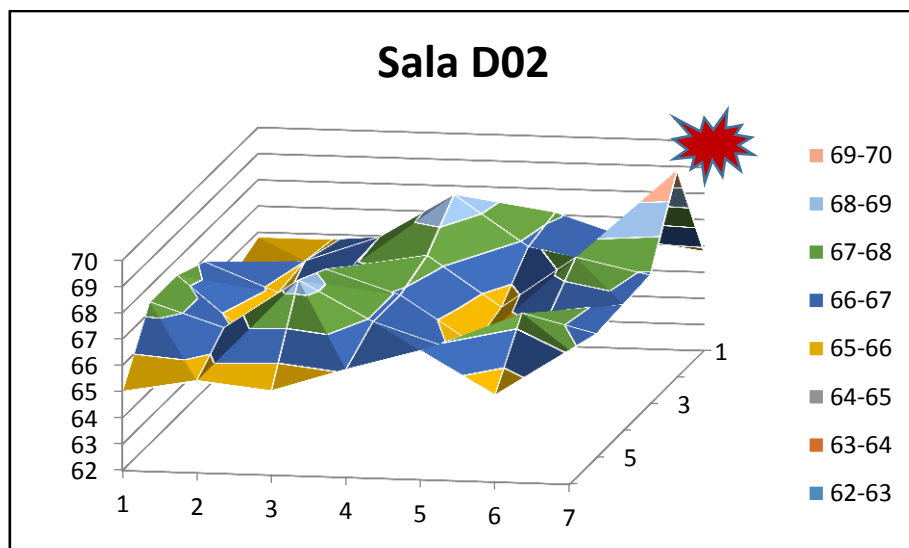
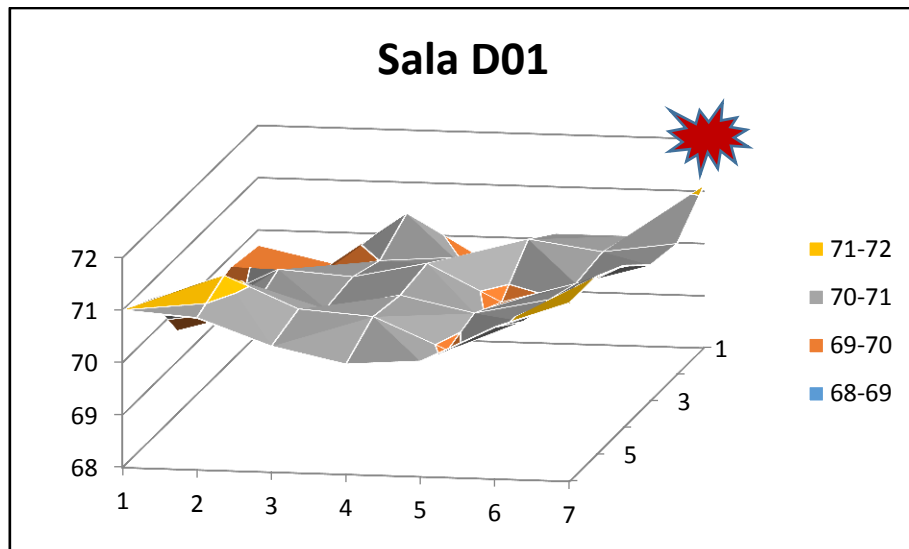


Figura 44. Representación gráfica de niveles en la Sala D para cada ruido.

4.6.5. Sala E.

En la Tabla. XIII se muestran los datos obtenidos en la sala E, para cada uno de los ruidos empleados.

		L_{Aeq,5s} (dBA)					
Sala E	Ruido 01	69,9	71,1	72,6	74,0	74,6	77,0
		71,3	71,6	71,3	72,7	74,5	75,2
		69,6	69,7	70,3	72,5	73,8	73,0
		68,6	69,9	70,6	71,2	73,6	72,4
		68,3	69,2	69,9	72,2	73,9	72,0
		69,4	69,1	69,4	70,3	72,6	73,3
	Ruido 02	69,9	70,4	72,2	73,6	76,0	78,3
		70,5	71,1	72,5	74,4	75,9	75,2
		69,9	70,1	71,2	71,3	76,5	74,5
		67,8	71,0	70,9	73,9	76,5	74,9
		70,5	70,5	70,8	71,7	75,0	73,1
		71,0	70,2	69,3	73,4	73,6	72,3
	Ruido 03	68,9	73,0	72,8	67,7	78,3	79,8
		66,3	70,9	74,6	65,7	75,9	72,9
		66,8	71,2	69,8	67,8	75,6	73,9
		68,7	66,3	61,5	59,1	64,9	71,3
		69,0	61,6	66,8	57,9	68,2	77,3
		70,2	70,6	64,0	65,0	65,2	63,1

Tabla. XIII. Valores de L_{Aeq,5s} en la Sala E.

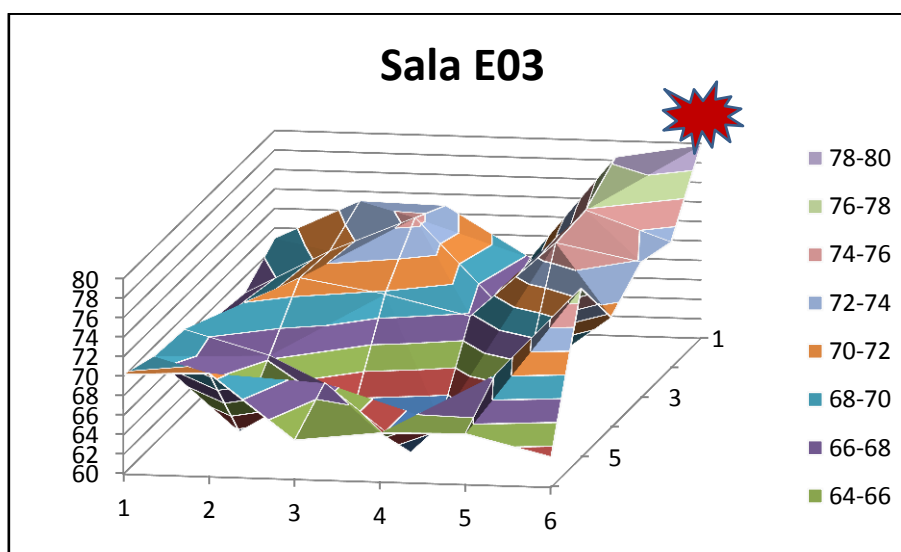
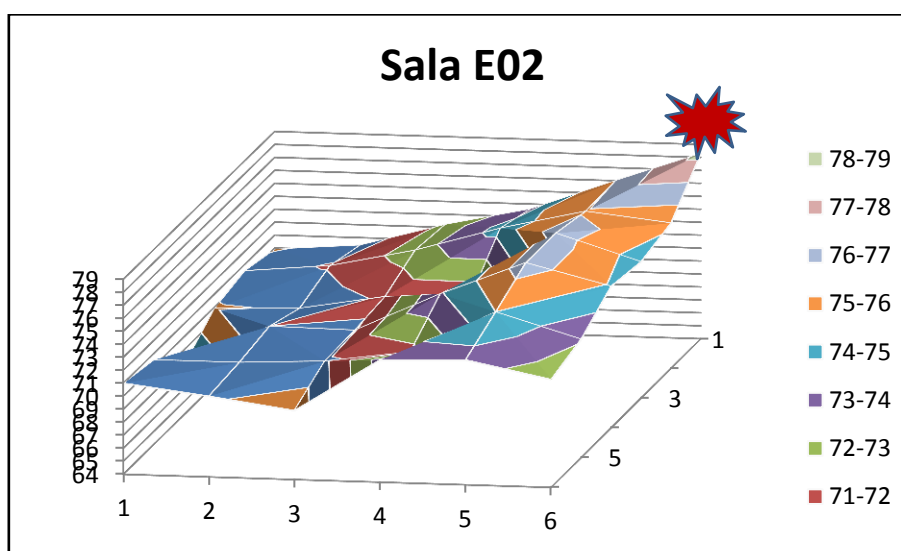
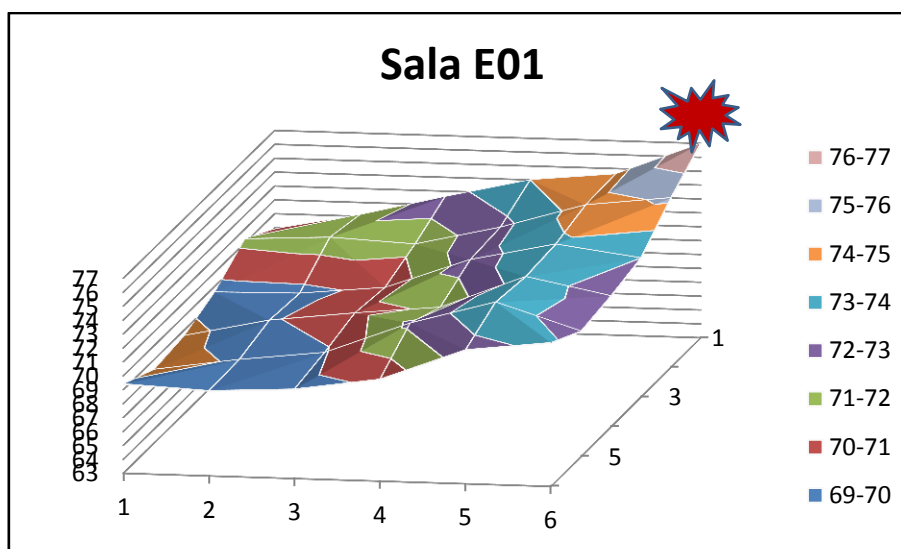


Figura 45. Representación gráfica de niveles en la Sala E para cada ruido.

5

Análisis de los datos de la fase preliminar

El propósito de este capítulo es cuantificar la incertidumbre asociada a la elección del punto de evaluación en función del número de puntos (muestras) escogidos en el interior de una habitación a la hora de realizar la fase preliminar.

Conviene precisar algunas definiciones antes de iniciar el desarrollo de este capítulo:

Población o universo: conjunto de todos los posibles resultados de un fenómeno, o experimento aleatorio, denominándose **elemento** a cada uno de sus componentes, pudiendo ser su número finito o, en teoría, infinito. Cabe, también, contemplar una población como un conjunto de elementos con una o más características comunes.

"Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones". Levin & Rubin (1996).

Muestra: Es un subconjunto de una población. Si el número de elementos del subconjunto es n , diremos que la muestra es de tamaño n . También cabe definir la muestra como la observación de n elementos de una población, o el resultado de repetir n veces un experimento aleatorio.

"Se llama muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Murray R. Spiegel (1991).

5.1. Determinación de la distribución poblacional.

Determinados los valores de $L_{Aeq,5s}$, el primer paso es comprobar si dichos valores se distribuyen conforme a una distribución normal. Para ello se hará uso del software de análisis estadístico STATGRAPHICS, mediante las técnicas de estadística paramétrica y no paramétrica.

La estadística paramétrica se aborda como conjunto de técnicas desarrolladas sobre la base de que la muestra procede de una determinada distribución de probabilidad.

La estadística no paramétrica, como conjunto de técnicas que o bien no requieren ninguna hipótesis previa acerca de la distribución de probabilidad de la

población o bien utilizan estadísticos con una distribución de probabilidad independiente de la distribución de la población.

5.1.1. Introducción.

La distribución recibe el nombre de normal, ya que la mayoría de las variables aleatorias continuas de la naturaleza siguen esta distribución, presentando una función de densidad cuya grafica tienen forma de campana, Figura 46.

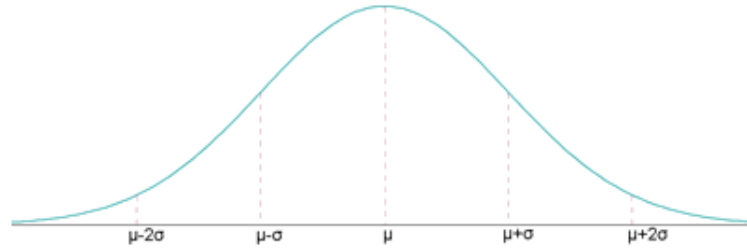


Figura 46. Función de densidad de una distribución normal.

Se dice que una variable aleatoria continua, X , se encuentra normalmente distribuida si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad -\infty < x < +\infty \quad (8)$$

Los parámetros de la distribución normal son la media, μ y la desviación típica, σ y se expresa como $X \sim N(\mu, \sigma)$.

Algunas propiedades de la distribución normal son:

- Tiene un máximo en la media μ , siendo simétrica respecto a ella.
- El eje de abscisas es una asíntota de la curva.
- La forma de la campana de Gauss depende de los parámetros μ y σ , como se puede apreciar en la Figura 47. La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de μ la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de apuntamiento de la curva. Cuanto mayor sea el valor de σ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro

indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.

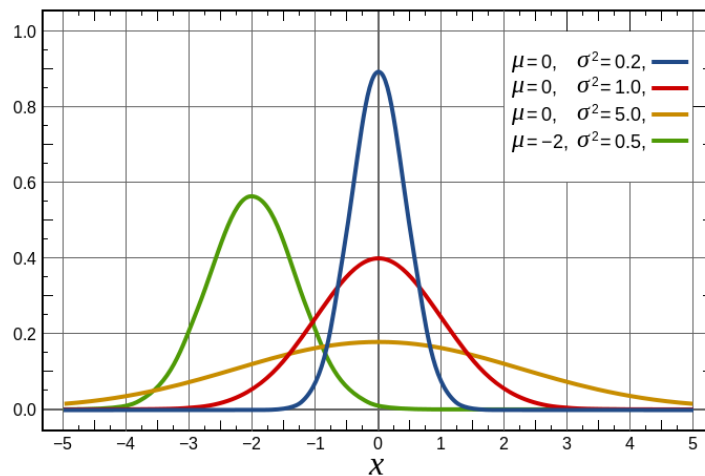


Figura 47. Función de densidad para distintos valores de σ y μ .

- Como puede observarse en la gráfica de la función de densidad (Figura 46), se comprueba que en toda distribución normal, en el intervalo:
 - $\mu \pm \sigma$ se encuentra comprendida el 68,26 % de la distribución.
 - $\mu \pm 2\sigma$ se encuentra el 95,44 % de la distribución.
 - $\mu \pm 3\sigma$ se encuentra el 99,74 % de la distribución.

5.1.2. Resultados

Los parámetros a considerar para determinar si una serie de datos o población, se aproxima a una distribución normal son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, así como las pruebas de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk y de Anderson-Darling.

Valores de los estadísticos de sesgo y curtosis estandarizados fuera del rango de ± 2 indican desviaciones significativas de la normalidad, Figura 48, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar.



Figura 48. Imágenes de sesgo y curtosis.

El test de Shapiro-Wilk se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Es considerada como la prueba más potente para muestras pequeñas ($n < 30$). Esta prueba compara el ajuste de mínimos cuadrados de la línea de regresión con los datos en el gráfico de probabilidad normal.

La prueba de Anderson-Darling permite determinar si una muestra de datos se extrae de una distribución de probabilidad. Cuando se aplica para probar si una distribución normal describe adecuadamente un conjunto de datos, es una de las herramientas estadísticas más potentes para la detección de la mayoría de las desviaciones de la normalidad.

A continuación se muestran los resultados del cálculo estadístico realizado mediante el software STATGRAPHICS en una de las salas, en concreto la Sala E, excitada con el Ruido 03 (Sala E03), Tabla. XIV.

En el Anexo II se puede comprobar los resultados estadísticos obtenidos en todas las salas.

Recuento	36
Promedio	69,0
Mediana	68,8
Varianza	27,5
Desviación Estándar	5,24
Coeficiente de Variación	7,6%
Mínimo	57,9
Máximo	79,8
Rango	21,9
Sesgo	0,0183
Sesgo Estandarizado	0,0449
Curtosis	-0,299
Curtosis Estandarizada	-0,366

Tabla. XIV. Resumen estadístico Sala E03.

En este caso, el valor del sesgo estandarizado y de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

En la Figura 49 se muestra la curva de la distribución normal para una media $\mu = 69,0$ y una desviación $\sigma = 5,24$ superpuesta al histograma de niveles medidos.

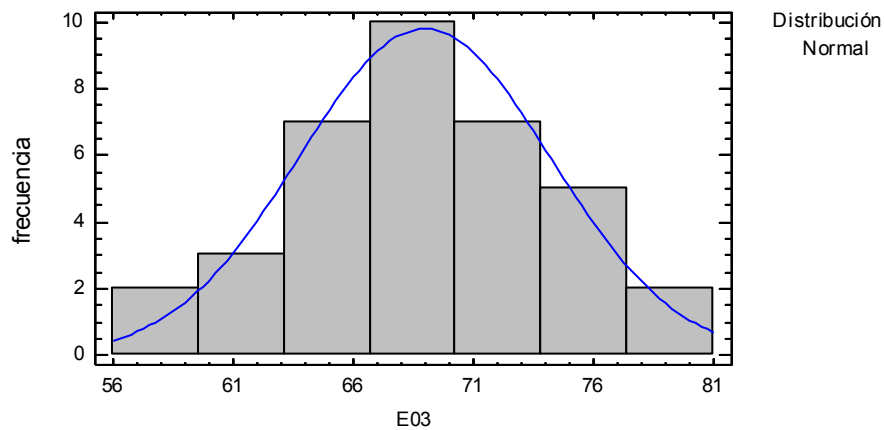


Figura 49. Histograma y distribución normal.

El gráfico de probabilidad normal, Figura 50, se crea de tal forma que, si los datos son muestras aleatorias de una distribución normal, deben caer aproximadamente a lo largo de una línea recta.

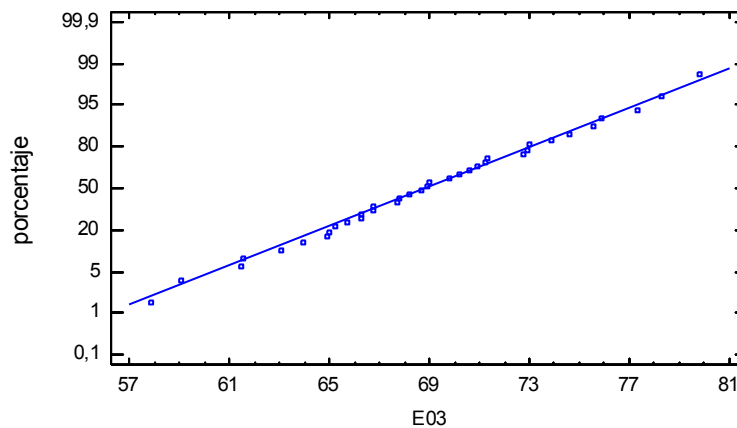


Figura 50. Gráfico de probabilidad normal.

La prueba de Shapiro-Wilk, Tabla. XV, está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,988	0,97

Tabla. XV. Prueba de normalidad para E03.

En la Tabla. XVI se muestra el valor-p calculado por el software para la prueba de Anderson-Darling:

	<i>Normal</i>
A ²	0,0951
Forma Modificada	0,0972
Valor-P	0,997*

Tabla. XVI. Prueba de Anderson-Darling.

Debido a que el *valor-P* más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E03 proviene de una distribución normal con un 95 % de confianza.

Después de realizar las pruebas estadísticas en todas las salas, se concluye que los valores de $L_{Aeq,5s}$ medidos, provienen de una distribución de probabilidad normal.

5.2. Análisis para abordar la fase preliminar.

5.2.1. Introducción.

El propósito es obtener a partir de la población, extrayendo muestras de distinto tamaño, la probabilidad de que al menos uno de los valores que constituyen la muestra, se encuentre dentro de una zona de aceptación.

Zona que se definirá en base a un valor crítico, L_{Aeqmax} , que se calculara de acuerdo a lo descrito en la Norma UNE EN-ISO 1996-2:2009 para la evaluación de los niveles máximos.

Una vez determinado que los valores de $L_{Aeq,5s}$ proceden de una distribución normal se llevara a cabo el análisis de los datos para fijar el valor crítico. Valor a partir del cual se establecerá la zona de aceptación para un nivel de significación, α , del 90 % lo que conlleva a un nivel de confianza, $1 - \alpha$, del 10 %, en una distribución normal de una cola.

La probabilidad de que el parámetro de una muestra esté dentro de un determinado intervalo de valores es $1 - \alpha$ y la probabilidad de estar fuera de ese intervalo es α , como se puede ver en la Figura 51 siguiente.

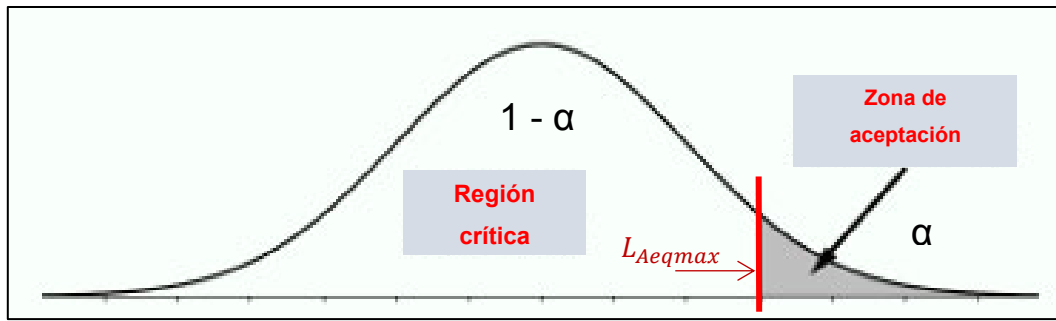


Figura 51. Región crítica y zona de aceptación en la distribución normal.

La región crítica es aquella que contiene todos los valores que se encuentran por debajo del valor L_{Aeqmax} (Valor crítico).

Para determinar el valor de L_{Aeqmax} , se hará uso de lo indicado en la Norma UNE-ISO 1996-2: “*Determinación de los ruidos ambientales*”, en su apartado 9.3 para la evaluación del resultado de medición de niveles máximos.

La Norma indica que para grupos homogéneos de sucesos únicos, con una distribución de Gauss de niveles de presión sonora continuo equivalente máximos, se utilice la ecuación (9) y la Figura 52 para estimar los percentiles de la distribución de los niveles de presión sonora continuo equivalente máximos:

$$L_{Aeqmax} = \bar{L}_{Aeq,5s} + y * s \quad (9)$$

donde:

L_{Aeqmax} es el valor crítico, límite de la región crítica; Nivel máximo excedido por α % de los niveles;

$\bar{L}_{Aeq,5s}$ es la media de los niveles máximos medidos, $L_{Aeq,5s}$;

s es la desviación típica de los niveles (una estimación de la desviación típica de la distribución de Gauss);

y es el número de desviaciones típicas indicadas en la Figura 52.

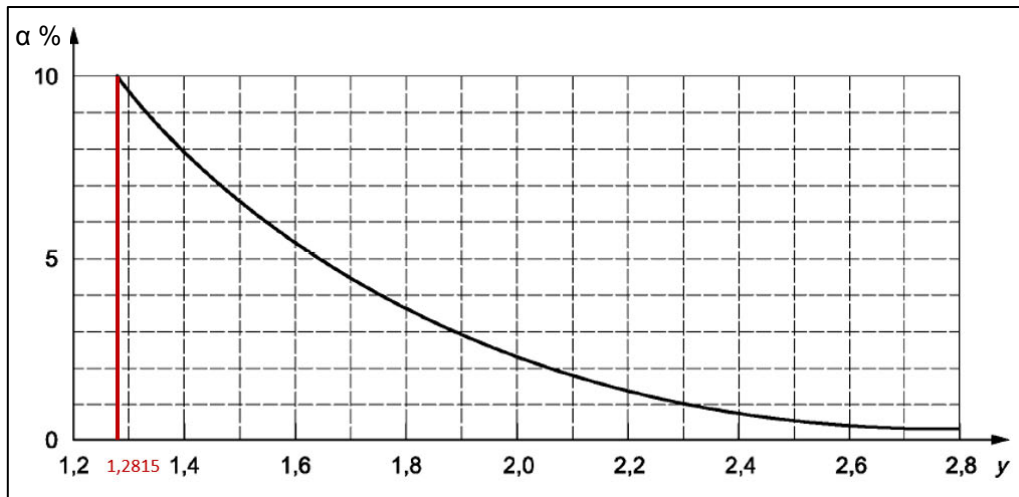


Figura 52. Porcentaje, α , de sucesos únicos con un nivel de presión sonora continuo equivalente máximo que excede, en un cierto número, y , de las desviaciones típicas, de la media de una distribución normal de los niveles de presión sonora continuo equivalente máximos.

La curva de la Figura 52 corresponde a la función de distribución acumulada o acumulativa (**fda**) para la distribución normal estándar, $X \sim N(0, 1)$, como se muestra en la Figura 53. La **fda** describe la probabilidad de que una variable aleatoria normalmente distribuida X se sitúe en la zona de valores menores o iguales a x .

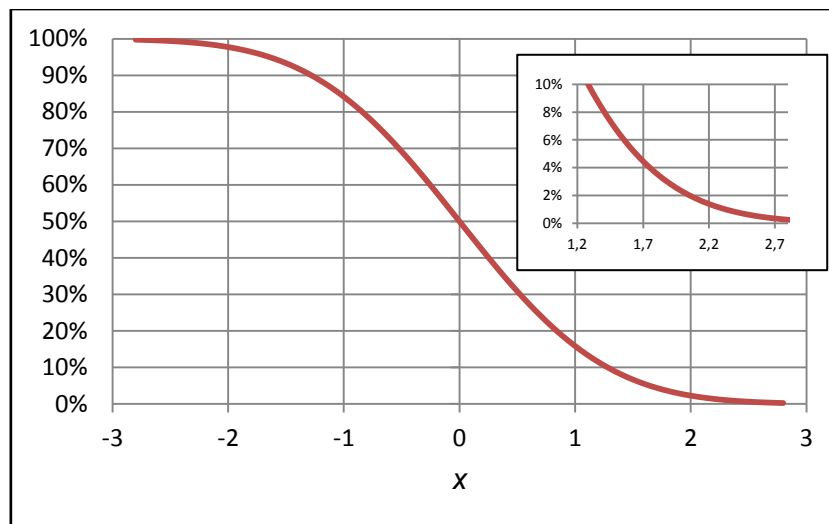


Figura 53. Función de distribución acumulada para la distribución normal estándar.

El valor de y también se puede obtener por medio de la tabla de distribución normal tipificada inversa, como se muestra en la Figura 54:

p	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900
0,000	0, 000 000	0, 253 347	0, 524 401	0, 841 621	1, 281 551
0,001	0, 002 507	0, 255 936	0, 527 280	0, 845 198	1, 287 272
0,002	0, 005 014	0, 258 527	0, 530 162	0, 848 786	1, 293 033
0,003	0, 007 519	0, 261 120	0, 533 048	0, 852 385	1, 298 836

Figura 54. Tabla de distribución normal tipificada inversa.

La tabla inversa parte de la probabilidad, p , y determina la abscisa, x , que deja a su izquierda esa probabilidad, como se muestra en la Figura 55.

En este caso, el valor x que deja a la izquierda una probabilidad, p del 90 % es igual a 1,281551.

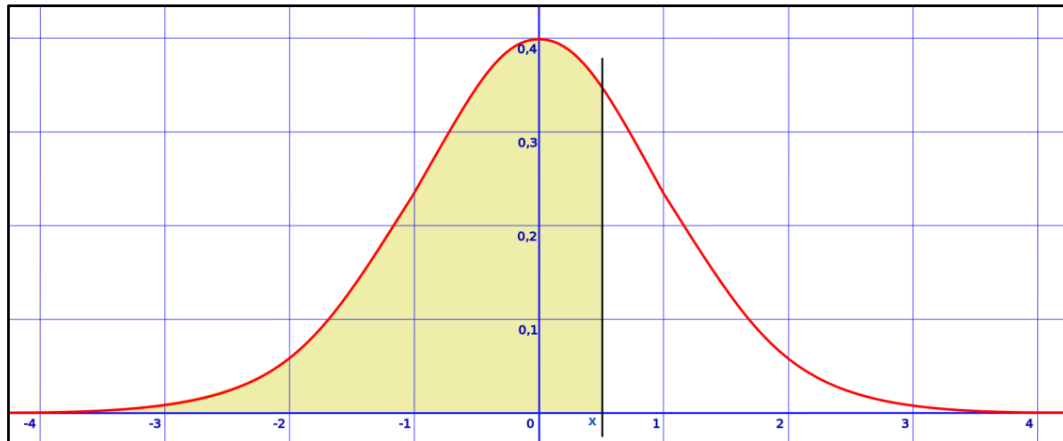


Figura 55. Distribucion Normal o de Gauss.

Aplicando uno de los dos métodos expuestos, se obtiene el valor de L_{Aeqmax} , a partir del cual se decide que el nivel máximo medido se va a encontrar en la zona de aceptación con un nivel de significación, α del 10 %.

En la Tabla. XVII se muestran los valores obtenidos de L_{Aeqmax} , así como el promedio y la desviación de los valores $L_{Aeq,5s}$ en cada una de las salas para cada uno de los ruidos.

<i>Sala</i>	<i>Ruido</i>	<i>Promedio</i> $\bar{L}_{Aeq,5s}$	<i>Desviación</i> (s)	$L_{Aeqm\acute{a}x}$ (dBA)
A	01	71,5	0,63	72,3
	02	69,6	0,85	70,7
	03	60,8	0,60	61,5
B	01	65,6	1,43	67,4
	02	65,7	1,01	67,0
	03	60,6	4,05	65,8
C	01	68,9	0,64	69,8
	02	66,5	1,19	68,1
	03	61,8	0,83	62,8
D	01	70,3	0,51	71,0
	02	66,6	1,04	67,9
	03	68,5	3,56	73,0
E	01	71,7	2,08	74,4
	02	72,5	2,46	75,6
	03	69,0	5,24	75,7

Tabla. XVII. Valores de $L_{Aeqm\acute{a}x}$, para cada sala en función del ruido.

Una vez determinado el valor a partir del cual se establece la zona de aceptación, se considerara como valores máximos todos los valores que se encuentren en esta zona. En el siguiente apartado se realiza el cálculo probabilístico en función del tamaño de la muestra escogida.

Dicho estudio, se realizara de manera manual por medio de una macro en Excel, así como también de manera teórica haciendo uso de las propiedades de la distribución binomial.

5.2.2. Conteo Manual

A continuación se pasa a describir la manera de proceder en la determinación de la probabilidad, ***Pr***, de encontrar el valor máximo de una muestra, dentro de la zona de aceptación. La muestra estará compuesta de 3 ítems o 4 ítems o 5 ítems o 6 ítems.

El método explicado a continuación es relativo a muestras de tres ítems, que son las posiciones mínimas, siempre que sea posible en la sala, como indica el Real Decreto 1367/2007, para determinar el punto de evaluación en la fase preliminar. El mismo procedimiento se ha desarrollado para tamaño de muestras de 4, 5 y 6 ítems. Todo el proceso desarrollado se puede comprobar en el fichero “***Sala***” hoja “***Conteo Manual***” de Excel que se encuentra en el cd.

El primer paso es obtener los elementos o ítems que formaran la muestra por medio de un *muestreo aleatorio simple (m.a.s) con reemplazamiento* de todos los valores disponibles de la población.

El muestreo se lleva a cabo con reemplazamiento cuando una vez extraído un elemento o ítem, y hechas sobre él las observaciones oportunas, se devuelve al colectivo, lo que supone que la población no es modificada y el elemento puede ser elegido de nuevo. Esta forma de actuar implica que la probabilidad de extracción de cada elemento es la misma para todos ellos, pues la población no cambia. Conduce a que los elementos de la muestra son probabilísticamente independientes. [10]

La fórmula empleada en Excel para realizar el *muestreo aleatorio simple*, es la que se indica en la ecuación (10):

$$INDICE (ValIni:ValFina;ALEATORIO.ENTRE(1;CONTAR(ValInic:ValFinal))) \quad (10)$$

Para facilitar el trabajo se construyen 10 muestras formadas por 3 elementos cada una. A continuación se determina el valor más alto, $L_{Aeq,5s,max}$, de los tres elementos, comprobando si dicho valor se encuentra en la región de aceptación, es decir, $L_{Aeq,5s,max} \geq L_{Aeqmax}$.

Para ello se utiliza la fórmula de Excel (11):

$$N(Y("L_{Aeq,5s,max}" >= "L_{Aeqmax}")) \quad (11)$$

Si así fuera, es decir si fuera igual o mayor, la misma fórmula establece un valor = 1 en la celda inferior y la celda cambia a color rojo, si no es así la celda establece el valor = 0. La hoja de cálculo lo único que hace es contar las veces que se obtiene el valor 1, es decir, realiza un recuento, círculo rojo en la Tabla. XVIII.

Hasta este momento, el conteo se ha realizado en 10 muestras de 3 valores cada una. La intención es realizar el recuento 1000 veces. Para ello se construye una **MACRO** denominada **ANOTAR**, se puede ver en el Anexo I, cuya función es realizar este recuento colocando el valor obtenido, en una matriz de 10 filas x 10 columnas, es decir, que en cada celda de la matriz se haya realizado el recuento 10 veces.

Finalmente se realiza el promedio de estos mil valores obteniendo la probabilidad **Pr** de que al elegir tres valores posibles, el mayor de ellos se encuentre en la región de aceptación.

Tabla. XVIII. Conteo manual en muestras de 3 items.

Para ello se hace uso de la ecuación, según [8]:

donde:

que corresponde al complementario de **Pr**.

72

La Tabla. XIX corresponde a los datos obtenidos para el ruido 01 en todas las salas y en función del número de muestras.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 01	Sala A	3 Muestras	25,0	75,0	2,4
		4 Muestras	26,3	73,7	2,4
		5 Muestras	35,0	65,0	2,2
		6 Muestras	42,8	57,2	2,0
	Sala B	3 Muestras	31,6	68,4	2,3
		4 Muestras	37,7	62,3	2,1
		5 Muestras	52,7	47,3	1,7
		6 Muestras	58,5	41,5	1,5
	Sala C	3 Muestras	41,9	58,1	2,0
		4 Muestras	43,8	56,2	1,9
		5 Muestras	59,6	40,4	1,5
		6 Muestras	66,1	33,9	1,3
	Sala D	3 Muestras	36,3	63,7	2,1
		4 Muestras	36,8	63,2	2,1
		5 Muestras	53,4	46,6	1,7
		6 Muestras	58,6	41,4	1,5
	Sala E	3 Muestras	27,6	72,4	2,4
		4 Muestras	28,5	71,5	2,3
		5 Muestras	46,6	53,4	1,9
		6 Muestras	54,1	45,9	1,6

Tabla. XIX. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 01.

En la Figura 56 se muestra la probabilidad de acierto obtenido con el ruido 01 en cada una de las salas según el número de muestras.

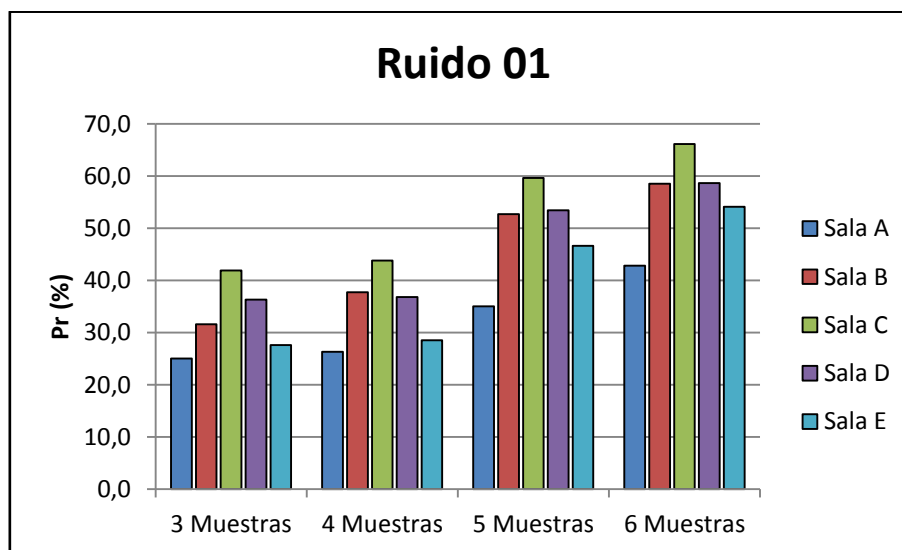


Figura 56. Probabilidad de acierto. Ruido 01 en todas las salas.

La Figura 57 corresponde a la incertidumbre en cada sala, excitada con el ruido 01, en funcion del numero de muestras o puntos de medida.

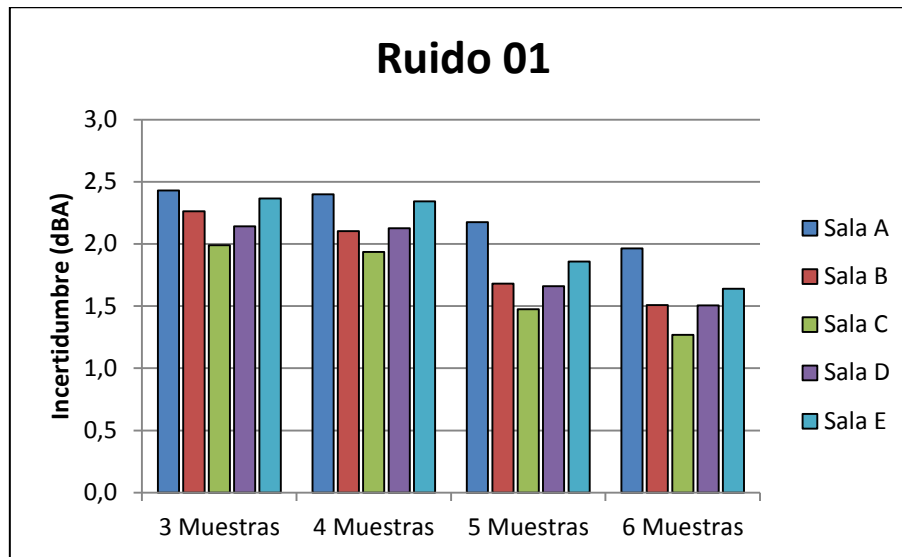


Figura 57. Incertidumbre Ruido 01.

En la Tabla. XX se muestran los valores obtenidos para cada una de las salas, con el ruido 02, en funcion del tamaño de la muestra.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 02	Sala A	3 Muestras	31,2	68,8	2,3
		4 Muestras	31,7	68,3	2,3
		5 Muestras	43,8	56,2	1,9
		6 Muestras	52,0	48,0	1,7
	Sala B	3 Muestras	28,0	72,0	2,4
		4 Muestras	28,1	71,9	2,4
		5 Muestras	43,4	56,6	1,9
		6 Muestras	49,2	50,8	1,8
	Sala C	3 Muestras	31,8	68,2	2,3
		4 Muestras	32,8	67,2	2,2
		5 Muestras	45,7	54,3	1,9
		6 Muestras	51,5	48,5	1,7
	Sala D	3 Muestras	17,5	82,5	2,6
		4 Muestras	20,9	79,1	2,5
		5 Muestras	31,2	68,8	2,3
		6 Muestras	36,4	63,6	2,1
	Sala E	3 Muestras	32,8	67,2	2,2
		4 Muestras	35,5	64,5	2,2
		5 Muestras	53,4	46,6	1,7
		6 Muestras	60,2	39,8	1,5

Tabla. XX. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 02.

En la Figura 58 se muestra la probabilidad de acierto obtenida con el ruido 03 en cada una de las salas según el número de muestras.

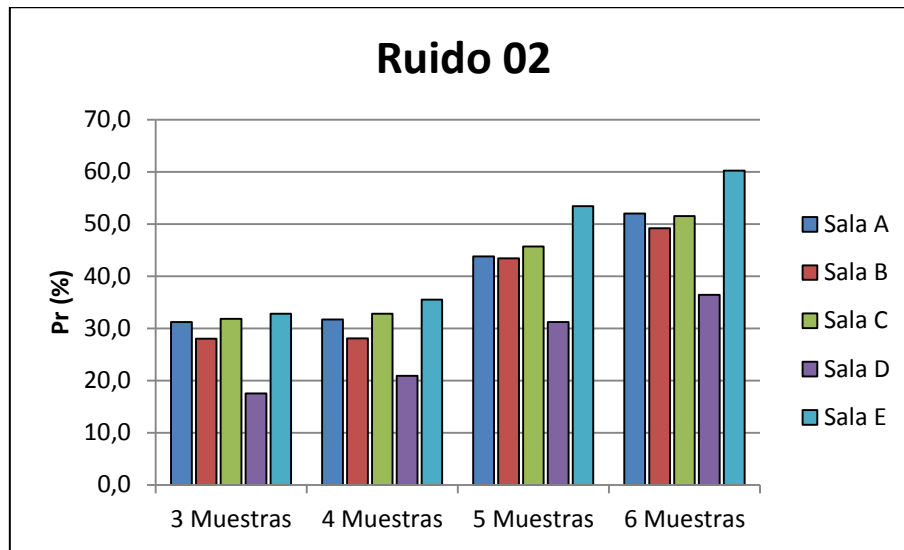


Figura 58. Probabilidad de acierto. Ruido 02 en todas las salas.

La Figura 59 corresponde a la incertidumbre en cada sala, excitada con el ruido 03, en función del número de muestras o puntos de medida.

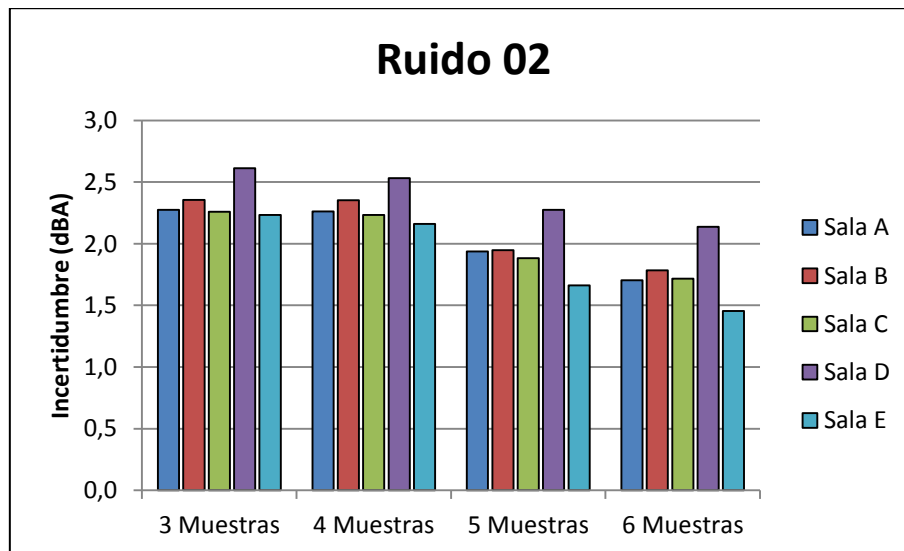


Figura 59. Incertidumbre Ruido 02.

En la Tabla. XXI se muestran los valores obtenidos para cada una de las salas, con el ruido 03, en función del tamaño de la muestra.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 03	Sala A	3 Muestras	32,0	68,0	2,3
		4 Muestras	36,9	63,1	2,1
		5 Muestras	50,2	49,8	1,8
		6 Muestras	55,1	44,9	1,6
	Sala B	3 Muestras	16,6	83,4	2,6
		4 Muestras	18,4	81,6	2,6
		5 Muestras	28,1	71,9	2,4
		6 Muestras	36,2	63,8	2,1
	Sala C	3 Muestras	29,9	70,1	2,3
		4 Muestras	34,4	65,6	2,2
		5 Muestras	44,4	55,6	1,9
		6 Muestras	55,4	44,6	1,6
	Sala D	3 Muestras	20,3	79,7	2,5
		4 Muestras	22,1	77,9	2,5
		5 Muestras	31,9	68,1	2,3
		6 Muestras	33,0	67,0	2,2
	Sala E	3 Muestras	30,8	69,2	2,3
		4 Muestras	31,2	68,8	2,3
		5 Muestras	45,3	54,7	1,9
		6 Muestras	50,1	49,9	1,8

Tabla. XXI. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 03.

En la Figura 60 se muestra la probabilidad de acierto obtenida, con el ruido 03, en cada una de las salas según el número de muestras.

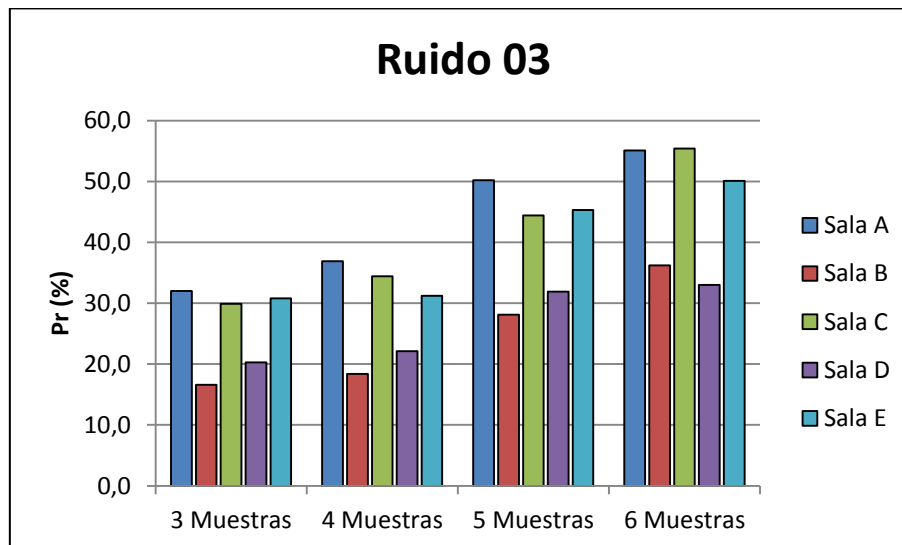


Figura 60. Probabilidad de acierto. Ruido 03 en todas las salas.

La Figura 61 corresponde a la incertidumbre en cada sala, excitada con el ruido 03, en función del número de muestras o puntos de medida.

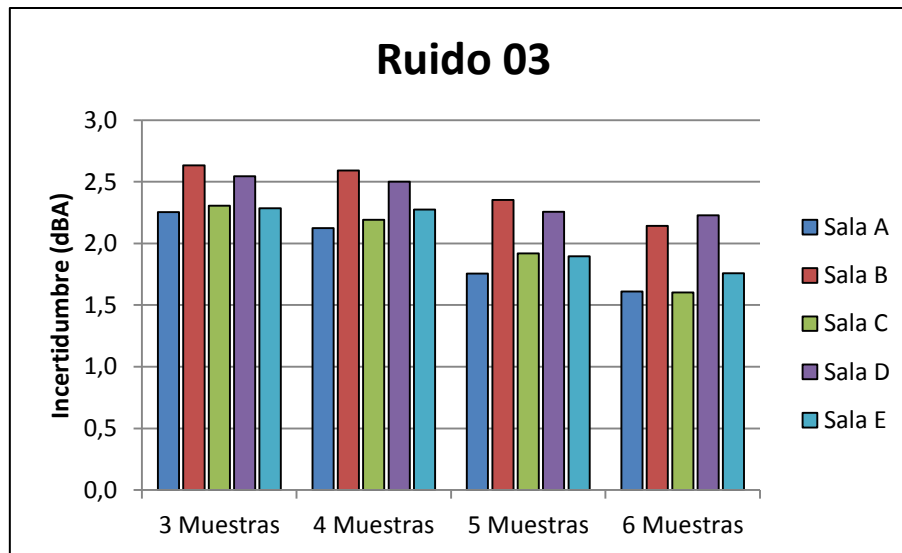


Figura 61. Incertidumbre Ruido 03.

Deteminada la incertidumbre en funcion del ruido, para cada sala y tamaño de la muestra, se observa que el patron de aleatoriedad de cualquiera de los tres ruidos es el mismo, no habiendo sesgos entre los valores. Es por ello que se obtiene la incertidumbre como el promedio de todas las salas según el ruido empleado, en funcion del tamaño de la muestra, como se muestra en la Tabla. XXII:

		Promedio Incertidumbre (dBA)	Desviación del promedio (σ)	Normalización de la desviación $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Ruido 01	3 Muestras	2,2	0,18	0,10
	4 Muestras	2,2	0,19	0,09
	5 Muestras	1,8	0,26	0,12
	6 Muestras	1,6	0,25	0,10
Ruido 02	3 Muestras	2,3	0,16	0,09
	4 Muestras	2,3	0,14	0,07
	5 Muestras	1,9	0,22	0,10
	6 Muestras	1,8	0,25	0,10
Ruido 03	3 Muestras	2,4	0,17	0,10
	4 Muestras	2,3	0,20	0,10
	5 Muestras	2,0	0,26	0,11
	6 Muestras	1,9	0,30	0,12

Tabla. XXII. Incertidumbre en función del ruido empleado y el tamaño de la muestra.

Se puede ver como la dispersión crece conforme aumenta el número de muestras empleado, para cualquiera de los tres ruidos utilizados en el estudio. Normalizando la dispersión al tamaño de la muestra se comprueba cómo la distribución se hace más plana o uniforme.

Finalmente se obtiene la incertidumbre promediada de los 3 ruidos, como se puede ver en la Tabla. XXIII, comprobando que hay poca dispersión entre los valores promediados.

	Promedio Incertidumbre (dBA)	Desviación del promedio (σ)	Normalización de la desviación $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
3 Muestras	2,3	0,08	0,05
4 Muestras	2,3	0,08	0,04
5 Muestras	1,9	0,13	0,06
6 Muestras	1,7	0,15	0,06

Tabla. XXIII. Incertidumbre en función del tamaño de la muestra.

Normalizando al tamaño de la muestra se observa que la dispersión es prácticamente idéntica.

5.2.3. Conteo teórico mediante la distribución binomial.

5.2.3.1. Introducción.

La distribución binomial se usa frecuentemente para modelar el número de éxitos en una muestra de tamaño n extraída con reemplazamiento de una población, N . Para N , mucho mayor que n , la distribución binomial es una buena aproximación para conocer la cuantía de éxitos de una muestra de elementos independientes de tamaño n .

La distribución binomial fue desarrollada por Jakob Bernoulli y es la principal distribución de probabilidad discreta para variables dicotómicas, es decir, que sólo pueden tomar dos posibles resultados. Bernoulli definió el proceso conocido por su nombre. Dicho proceso, consiste en realizar un experimento aleatorio una sola vez y observar si cierto suceso ocurre o no, siendo p la probabilidad de ocurrencia ("éxito") y $q = 1 - p$ de que no ocurra ("fracaso"), por lo que la variable sólo puede tomar dos posibles valores, el 1 si ocurre y el 0 si no sucede.

La distribución binomial es una generalización de la distribución de Bernoulli, cuando en lugar de realizar el experimento aleatorio una sola vez, se realiza n veces, siendo cada ensayo independiente del anterior.

Se dice que X sigue una distribución Binomial de parámetros n y p , que se representa con la siguiente notación:

$$X \sim B(n, p) \quad (13)$$

Su media y su varianza, vendrán dadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \mu &= n * p \\ \sigma^2 &= n * p * (1 - p) \end{aligned} \quad (14)$$

La probabilidad de que el suceso ocurra x veces en n ensayos está dada por la función de probabilidad:

$$Pr(X = x) = \binom{n}{x} * p^x * (1 - p)^{n-x} \quad (15)$$

donde:

La variable aleatoria X indica el número de éxitos en n ensayos

$$x = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \text{ son las combinaciones de } n \text{ sobre } x$$

n , debe ser un entero positivo y p debe pertenecer al intervalo $0 \leq p \leq 1$.

Una distribución de probabilidad binomial es una distribución teórica, que se puede calcular mediante el uso de la fórmula de la función de probabilidad. Sin embargo, los cálculos pueden ser muy tediosos, especialmente cuando se piden probabilidades acumuladas, ya que será necesario aplicar la fórmula repetidamente.

5.2.3.2. Determinación de la probabilidad de éxito, p , de la población.

El primer paso es determinar la probabilidad de éxito, p , que en este caso corresponde a la proporción de éxitos en la población. Se determina externamente aplicando la experiencia o aplicando el experimento infinitas veces.

Para una población de tamaño N (con N finito pero con muestreo con reemplazamiento) en la que la proporción de elementos que cumplen una determinada característica k , es p :

$$p = \frac{N_K}{N}$$

Donde N_K es el número de elementos de la población que cumplen la característica k . Se puede considerar que p es la proporción de un experimento binomial $B(1, p)$ con esperanza y varianza:

$$E(B) = p \quad \sigma(B) = p(1 - p)$$

La proporción de la éxito o proporción de la población, p , se obtendrá de todos los niveles medidos en cada una de las salas para cada uno de los ruidos utilizados.

A continuación se muestra un ejemplo realizado en la Sala C con el Ruido 01, Tabla. XXIV:

Sala C	Ruido 01	69,5	69,9	69,5	69,1
		69,7	69,8	69,1	68,3
		68,3	69,2	68,2	68,6
		68,4	68,5	67,9	68,3
		69,5	69,8	69,0	
		69,2	70,0	68,4	
		68,2	68,8	68,5	

Tabla. XXIV. Nivel continuo equivalente, $L_{Aeq,5s}$. Sala C01.

Donde la característica k es que $N_K \geq L_{Aeqmax}$.

Donde, como se ha obtenido en el apartado 5.2.2, $L_{Aeqmax} = 69,8$ dBA.

Por tanto, $N_K = 4$, $N = 25$, y la proporción de éxitos, p , será:

$$p (\%) = \frac{4}{25} * 100 = 16 \%$$

Se puede determinar en Excel, hoja "**Recuento Binomial**" del archivo "**Sala**" que se puede encontrar en el cd, para agilizar los cálculos, mediante la siguiente ecuación:

$$CONTAR.SI(VallInicial:ValFinal;">="L_{Aeqmax})/CONTAR(VallInicial:ValFinal) \quad (16)$$

De este modo se obtienen los valores de p y de su complementario q , que se exponen en la Tabla. XXV, para cada sala y con cada ruido empleado:

Sala	Ruido	p (%)	q (%)
A	01	8,7%	91,3%
	02	10,9%	89,1%
	03	13,0%	87,0%
B	01	13,8%	86,2%
	02	10,3%	89,7%
	03	6,9%	93,1%
C	01	16,0%	84,0%
	02	12,0%	88,0%
	03	12,0%	88,0%
D	01	14,3%	85,7%
	02	7,1%	92,9%
	03	7,1%	92,9%
E	01	11,1%	88,9%
	02	13,9%	86,1%
	03	11,1%	88,9%

Tabla. XXV. Valores de la proporción de éxitos, p y su complementario, q .

No se observa un patrón claro de probabilidad de éxito en función del ruido ni la sala empleada, obteniendo resultados muy aleatorios. Habiendo un rango de probabilidad de éxito de ± 4 % dentro una sala según el ruido empleado.

El valor de p , determinará la probabilidad de acierto Pr y por ende la probabilidad de fallo Qr así como la incertidumbre.

5.2.3.3. Cuantificación del conteo para muestras de tamaño

n .

Determinada la probabilidad o proporción de éxito, p , el siguiente paso es determinar en función del tamaño de la muestra, qué probabilidad existe para un “suceso”.

En este caso, el “suceso” es obtener al **menos uno o más** de los elementos de la muestra, igual o por encima del valor $L_{Aeqm\acute{a}x}$.

Para ello, como ejemplo, utilizando la función de probabilidad (15) para muestras de tres ítems, se tendría para la Sala C01 una probabilidad Pr igual a:

$$\begin{aligned}
 Pr(X \geq 1) &= \binom{3}{1} * (0,16)^1 * (0,84)^{3-1} + \binom{3}{2} * (0,16)^2 * (0,84)^{3-2} + \binom{3}{3} * (0,16)^3 * (0,84)^{3-3} = \\
 &= 0,407 = 40,7 \%
 \end{aligned}$$

Sin embargo, al ser sucesos independientes, se puede calcular de manera más sencilla, mediante el complementario, según la ecuación:

$$Pr(X \geq 1) = 1 - Pr(X = 0) = 1 - \left[\binom{3}{0} * (0,16)^0 * (0,84)^{3-0} \right] = 0,407 = 40,7 \% \quad (17)$$

Para facilitar el uso de la ecuación (17), se puede utilizar la fórmula *DISTR.BINOM.N* disponible en Excel, mediante la siguiente formula:

$$1 - DISTR.BINOM.N(\text{núm_éxitos}; n; p; FALSO) \quad (18)$$

donde:

Núm_éxitos número de éxitos en los ensayos = 0

n número de ensayos (3, 4, 5, 6)

p probabilidad de éxito en cada ensayo.

Sabiendo el valor de ***p*** se puede determinar la incertidumbre que se va tener en función del tamaño de la muestra. La muestra estará compuesta por el número de puntos utilizados en la medición (3, 4, 5 o 6 puntos).

Mediante la función de probabilidad se obtiene la probabilidad de acierto (***Pr***), y por tanto la probabilidad de fallo (***Qr***). El siguiente paso es convertir el % de la probabilidad de fallo a incertidumbre en términos logarítmicos (dBA). Para ello se hará uso de la ecuación (12) comentada anteriormente.

En las tablas y graficas siguientes se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los ruidos empleados, en cada una de las salas y para el tamaño de muestra elegida.

La Tabla. XXVI corresponde a los datos obtenidos para el ruido 01 en todas las salas y en función del número de muestras.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 01	Sala A	3 Muestras	23,9%	76,1%	2,5
		4 Muestras	30,5%	69,5%	2,3
		5 Muestras	36,5%	63,5%	2,1
		6 Muestras	42,1%	57,9%	2,0
	Sala B	3 Muestras	35,9%	64,1%	2,3
		4 Muestras	44,8%	55,2%	2,1
		5 Muestras	52,4%	47,6%	1,9
		6 Muestras	59,0%	41,0%	1,8
	Sala C	3 Muestras	40,7%	59,3%	2,2
		4 Muestras	50,2%	49,8%	2,0
		5 Muestras	58,2%	41,8%	1,8
		6 Muestras	64,9%	35,1%	1,6
	Sala D	3 Muestras	37,0%	63,0%	2,2
		4 Muestras	46,0%	54,0%	1,9
		5 Muestras	53,7%	46,3%	1,7
		6 Muestras	60,3%	39,7%	1,5
	Sala E	3 Muestras	29,8%	70,2%	2,4
		4 Muestras	37,6%	62,4%	2,2
		5 Muestras	44,5%	55,5%	2,0
		6 Muestras	50,7%	49,3%	1,8

Tabla. XXVI. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 01.
Recuento binomial.

En la Figura 62 se muestra la probabilidad de acierto obtenida con el ruido 01 en cada una de las salas según el número de muestras.

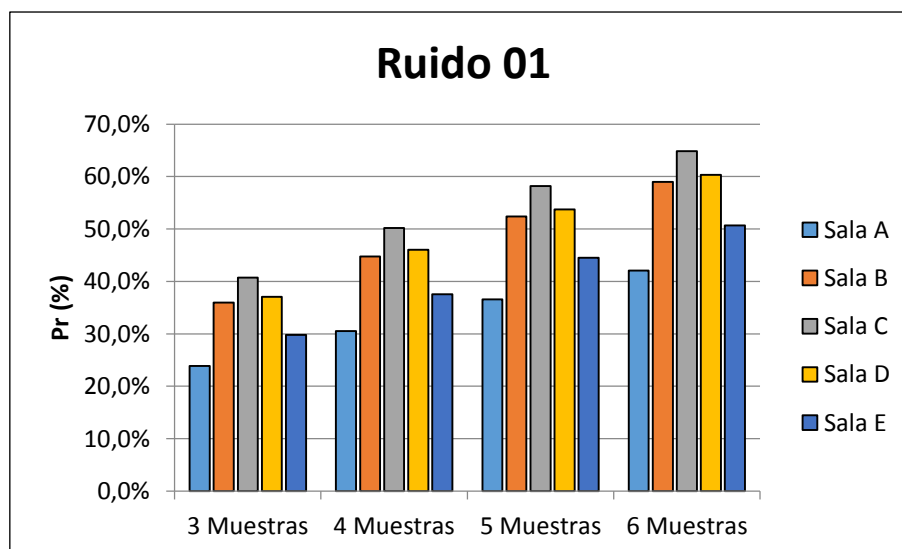


Figura 62. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la región de aceptación. Ruido 01.

La Figura 63 corresponde a la incertidumbre en cada sala, excitada con el ruido 01, en función del número de muestras o puntos de medida.

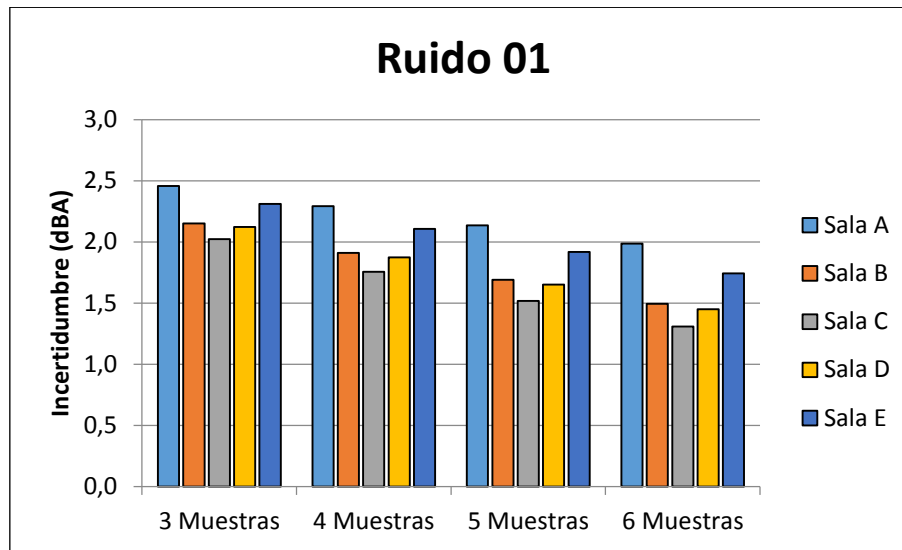


Figura 63. Incertidumbre Ruido 01. Recuento binomial.

La Tabla. XXVII corresponde a los datos obtenidos para el ruido 02 en todas las salas y en función del número de muestras.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 02	Sala A	3 Muestras	29,2%	70,8%	2,3
		4 Muestras	36,9%	63,1%	2,1
		5 Muestras	43,7%	56,3%	1,9
		6 Muestras	49,9%	50,1%	1,8
	Sala B	3 Muestras	27,9%	72,1%	2,4
		4 Muestras	35,4%	64,6%	2,2
		5 Muestras	42,1%	57,9%	2,0
		6 Muestras	48,1%	51,9%	1,8
	Sala C	3 Muestras	31,9%	68,1%	2,3
		4 Muestras	40,0%	60,0%	2,0
		5 Muestras	47,2%	52,8%	1,8
		6 Muestras	53,6%	46,4%	1,7
	Sala D	3 Muestras	19,9%	80,1%	2,6
		4 Muestras	25,7%	74,3%	2,4
		5 Muestras	31,0%	69,0%	2,3
		6 Muestras	35,9%	64,1%	2,2
	Sala E	3 Muestras	36,1%	63,9%	2,1
		4 Muestras	45,0%	55,0%	1,9
		5 Muestras	52,7%	47,3%	1,7
		6 Muestras	59,2%	40,8%	1,5

Tabla. XXVII. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 02. Recuento binomial.

En la Figura 64 se muestra la probabilidad de acierto obtenida con el ruido 02 en cada una de las salas según el número de muestras.

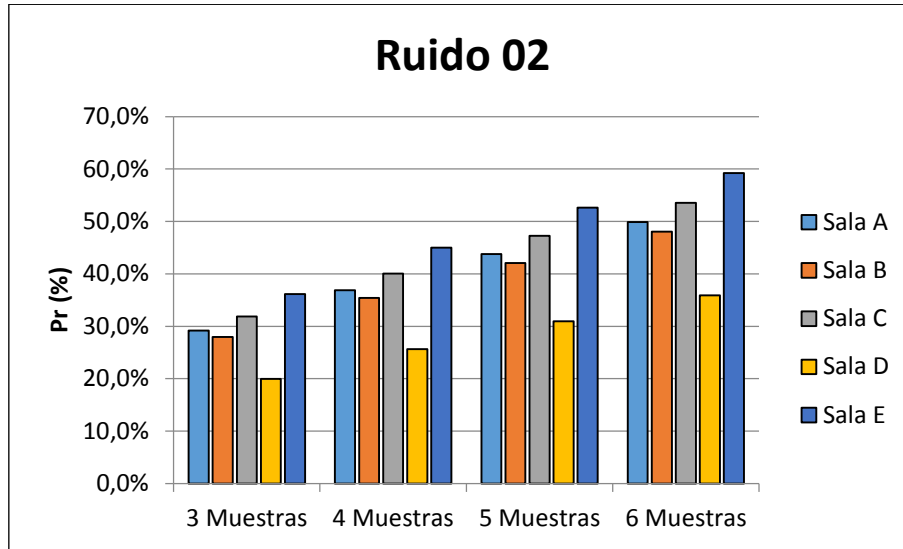


Figura 64. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la region de aceptacion. Ruido 02.

La Figura 65 corresponde a la incertidumbre en cada sala, excitada con el ruido 02, en funcion del numero de muestras o puntos de medida.

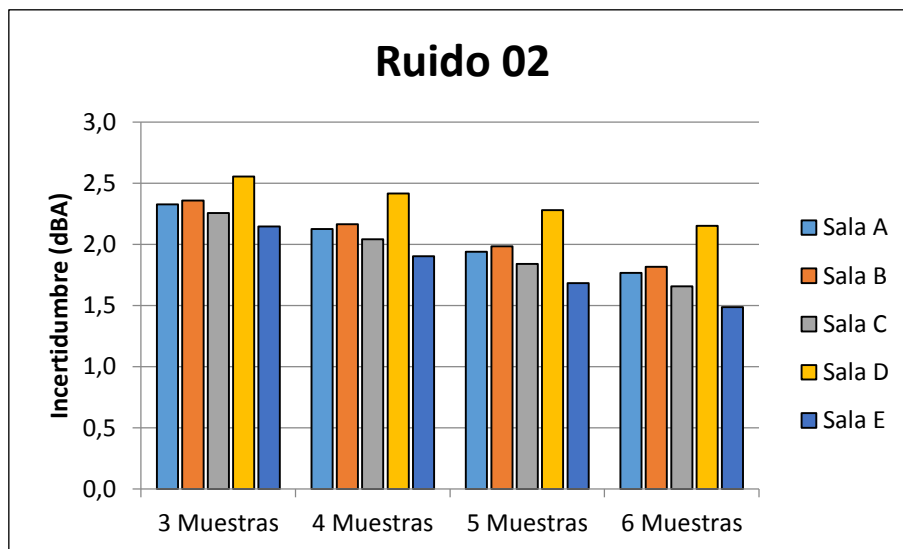


Figura 65. Incertidumbre Ruido 02. Recuento binomial.

La Tabla. XXVIII corresponde a los valores obtenidos de probabilidad de acierto de fallo y la incertidumbre para el ruido 03.

			<i>Pr (%)</i>	<i>Qr (%)</i>	<i>Incertidumbre (dBA)</i>
Ruido 03	Sala A	3 Muestras	34,2%	65,8%	2,2
		4 Muestras	42,8%	57,2%	2,0
		5 Muestras	50,3%	49,7%	1,8
		6 Muestras	56,8%	43,2%	1,6
	Sala B	3 Muestras	19,3%	80,7%	2,6
		4 Muestras	24,9%	75,1%	2,4
		5 Muestras	30,0%	70,0%	2,3
		6 Muestras	34,9%	65,1%	2,2
	Sala C	3 Muestras	31,9%	68,1%	2,3
		4 Muestras	40,0%	60,0%	2,0
		5 Muestras	47,2%	52,8%	1,8
		6 Muestras	53,6%	46,4%	1,7
	Sala D	3 Muestras	19,9%	80,1%	2,6
		4 Muestras	25,7%	74,3%	2,4
		5 Muestras	31,0%	69,0%	2,3
		6 Muestras	35,9%	64,1%	2,2
	Sala E	3 Muestras	29,8%	70,2%	2,3
		4 Muestras	37,6%	62,4%	2,1
		5 Muestras	44,5%	55,5%	1,9
		6 Muestras	50,7%	49,3%	1,7

Tabla. XXVIII. Probabilidad de acierto y probabilidad de fallo e incertidumbre. Ruido 03. Recuento binomial.

En la Figura 66 se muestra la probabilidad de acierto obtenida con el ruido 03 en cada una de las salas según el número de muestras.

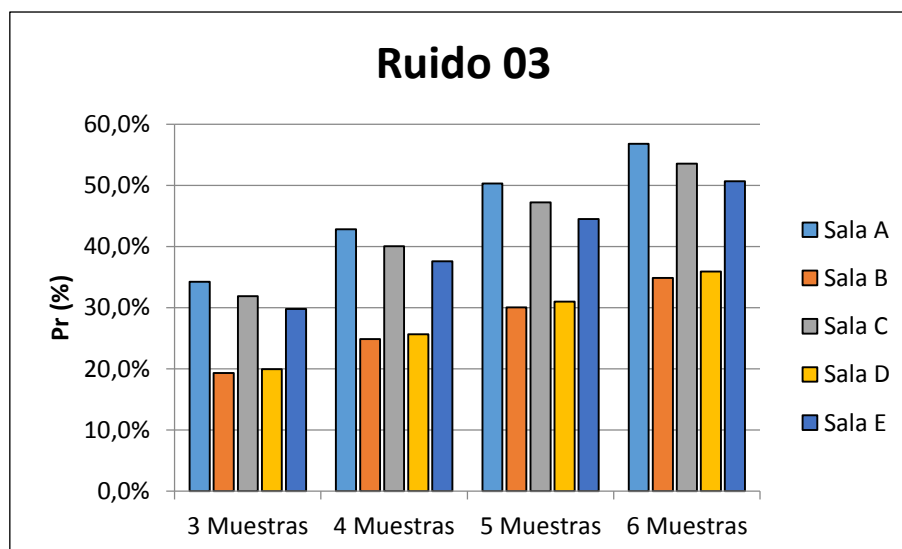


Figura 66. Probabilidad de encontrar mínimo un valor de la muestra en la region de aceptación. Ruido 03.

La Figura 67 corresponde a la incertidumbre en cada sala excitada con el ruido 03, en función del número de muestras o puntos de medida.

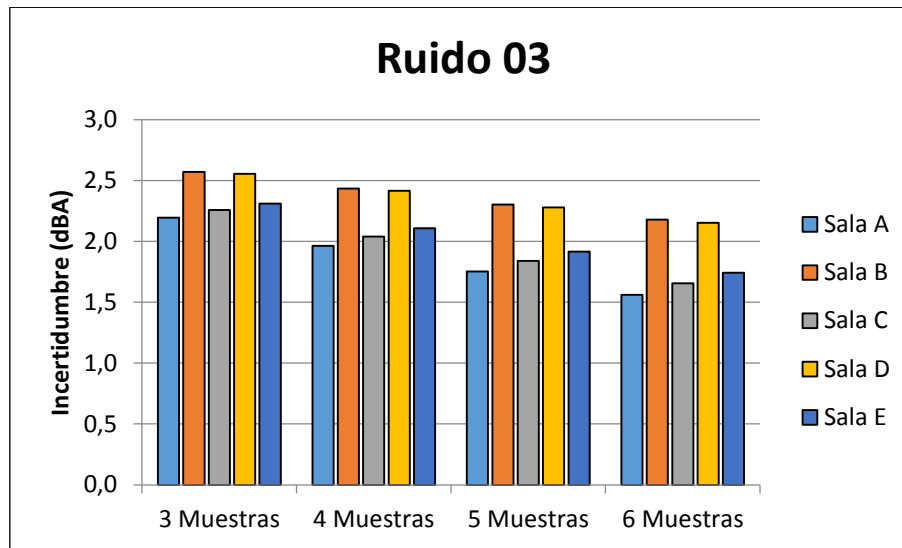


Figura 67. Incertidumbre Ruido 03. Recuento binomial.

Realizado el recuento de manera manual y mediante una forma “teórica”, en función de la probabilidad de éxito obtenida de una población suficientemente amplia, se puede apreciar que los resultados obtenidos por ambos métodos dan valores de incertidumbre similares, con una ligera variación de 0,1 dBA entre ambos.

Se ha podido observar en las gráficas de superficie, del capítulo anterior, la aleatoriedad de los niveles en las salas, sin tener influencia el tipo de sala ni el tipo de ruido en la incertidumbre, es por esta razón que se determinara la incertidumbre promediada de las salas, Tabla. XXIX.

		Promedio Incertidumbre (dBA)	Desviación del promedio (σ)	Normalización de la desviación $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Ruido 01	3 Muestras	2,2	0,17	0,10
	4 Muestras	2,0	0,21	0,11
	5 Muestras	1,8	0,24	0,11
	6 Muestras	1,6	0,27	0,11
Ruido 02	3 Muestras	2,3	0,15	0,09
	4 Muestras	2,1	0,19	0,09
	5 Muestras	1,9	0,22	0,10
	6 Muestras	1,8	0,25	0,10
Ruido 03	3 Muestras	2,4	0,17	0,10
	4 Muestras	2,2	0,22	0,11
	5 Muestras	2,0	0,26	0,11
	6 Muestras	1,9	0,29	0,12

Tabla. XXIX. Incertidumbre en función del ruido empleado y el tamaño de la muestra.
Recuento binomial.

Se puede observar que no hay grandes dispersiones entre salas, indicando que hay poca variabilidad entre los valores, creciendo según el número de puntos empleados. Normalizando la desviación se observa como la distribución es bastante uniforme.

Finalmente se realiza el promedio entre los ruidos, obteniendo la incertidumbre según el número de puntos elegidos para realizar la fase preliminar, Tabla. XXX.

	Promedio Incertidumbre (dBA)	Desviación del promedio (σ)	Normalización de la desviación $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
3 Muestras	2,3	0,08	0,05
4 Muestras	2,1	0,10	0,05
5 Muestras	1,9	0,12	0,05
6 Muestras	1,7	0,13	0,05

Tabla. XXX. Incertidumbre en función del tamaño de la muestra. Recuento binomial.

Al normalizar la desviación al tamaño de la muestra se puede observar que la dispersión es plana o uniforme.

6

Método de evaluación y cálculo de incertidumbre

Este apartado se centra en la aplicación práctica del método de evaluación en la medida del ruido transmitido al ambiente interior mediante el procedimiento descrito en el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007.

También se realiza la evaluación de la incertidumbre de medida, aplicando el enfoque clásico de la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM).

6.1. Aplicación práctica del método de evaluación de los índices acústicos.

6.1.1. Entorno y puntos de medida.

El ensayo se realizó en el aula D8006, situada en la planta sótano de la ETSIS. El aula tiene un área de $44,28 \text{ m}^2$, y un volumen de $106,27 \text{ m}^3$, y la forma de su planta se puede ver en el croquis de la Figura 68.

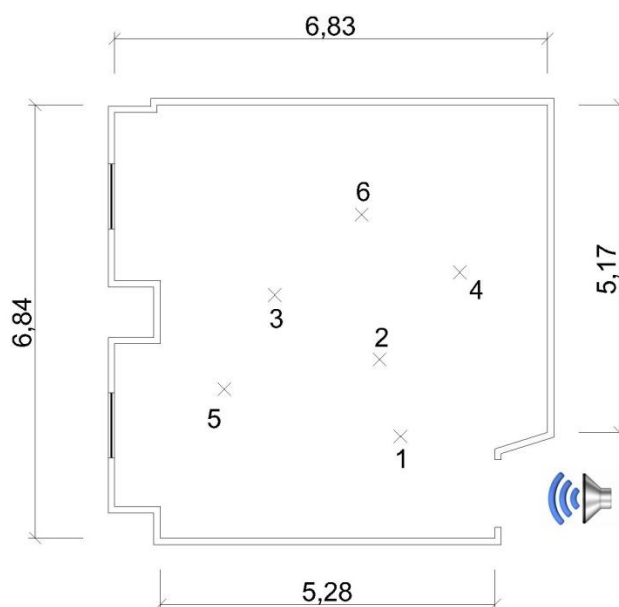


Figura 68. Croquis y disposición de los puntos de medida de la fase preliminar. Aula D8006.

El ensayo se llevara a cabo con el Ruido 03, explicado en el capítulo 3. Ruido que se mantendrá uniforme durante todo el ensayo.

Tal y como indica el Real Decreto, y según se ha explicado en el capítulo 3, primero se realizara una inspección preliminar de los puntos de evaluación para determinar el punto de máxima afección, mediante un recorrido por la sala con el

micrófono/analizador. La inspección se realizara en seis puntos, como se puede observar en la Figura 68, debido al tamaño del aula.

Las posiciones de los puntos de evaluación cumplirán las especificaciones definidas en el apartado 3b del Anexo I del Real Decreto 1367/2007. El Real Decreto indica que los puntos estarán al menos a 1 m de la paredes u otras superficies, a entre 1,2 m y 1,5 m sobre el piso, y aproximadamente a 1,5 m de las ventanas. La altura del punto de medida será de 1,30 m.

Los valores observados son los que se muestran en la Tabla. XXXI:

Punto	L_{Aeq} (dBA)
1	70,5
2	72,4
3	73,9
4	70,3
5	72,2
6	73,5

Tabla. XXXI. Valores de L_{Aeq} en el aula.

Determinando que el punto de máxima afección, L_{Aeq} de mayor nivel, se halla en el punto número 3, como se puede ver en la Tabla. XXXI.

Definido el punto de medición, se realizara el ensayo propiamente dicho, siguiendo el mismo procedimiento explicado en el Capítulo 4.

6.1.2. Instrumental empleado.

El instrumental utilizado para realizar el ensayo es que se detalla en la Tabla.

XXXII:

Equipo	Marca	Modelo	Nº de serie
Micrófono prepolarizado de campo libre	G.R.A.S.	40AF	24126
Preamplificador	G.R.A.S.	26AK	28103
Sistema de medida	01 dB	Symphonie	1386
Calibrador	Álava Ingenieros	Cal01	11663
Fuente sonora autoamplificada	D.A.S. Audio	DR-512A	
Reproductor de cd/Portátil	ASUS		
PC	Toshiba		
Pie de micrófono			

Tabla. XXXII. Instrumental empleado.

6.1.3. Duración de las medidas.

Se realizarán, en el punto de evaluación, tres mediciones del nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, L_{Aeq} , de una duración de 5 segundos, con intervalos de tiempo entre medidas, de 3 minutos, tanto con la fuente de ruido en marcha como del ruido de fondo.

6.1.4. Resultado.

Los valores obtenidos son los que se muestran en la Tabla. XXXIII con la fuente emitiendo el ruido y en la Tabla. XXXIV correspondiente al ruido de fondo o con la fuente apagada.

Ruido Actividad + Ruido de Fondo			
Medida	$L_{Aeq}(dBA)$	$L_{Aeq}(dBA)$	$L_{Ceq}(dBC)$
1	73,9	74,3	82,5
2	73,6	74,2	82,2
3	73,8	74,2	82,4

Tabla. XXXIII. Mediciones de ruido generado por la fuente.

Ruido de Fondo			
Medida	LAeq(dBA)	LAeq(dBA)	LCeq(dBC)
1	30,2	39,6	43,0
2	30,2	31,1	43,2
3	30,2	31,0	43,5

Tabla. XXXIV. Mediciones de ruido de fondo.

También se muestran los valores del espectro de ruido en dB tanto del ruido generado por la fuente, Tabla. XXXV, como del ruido de fondo, Tabla. XXXVIII.

Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
dB	19,9	37,7	26,2	37,3	56,7	57	64,6	60,6	58,4	53,8	64,1	82,2	63,5	55,5
Hz	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k
dB	54,8	52,8	52,3	50	52,6	51,9	44,6	49,3	50,1	48,4	44,7	44,5	43	38,3

Tabla. XXXV. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 1.

Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
dB	19,3	37,3	26,3	37,1	56,9	56,5	64,9	61,4	58	53,6	64,1	82,2	63,5	55,2
Hz	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10
dB	55,1	53,1	52,8	50,1	52,6	51,9	44,5	49	49,9	48,3	44,6	44,5	42,9	38

Tabla. XXXVI. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 2.

Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
dB	23,5	39,9	28,2	39,5	59,4	56	64,8	63,5	58,4	54,1	64,2	82,1	63,4	55,5
Hz	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10
dB	54,2	52,9	52,6	50,1	52,5	51,8	44,4	49,3	50,1	48,2	44,5	44,5	43	38,1

Tabla. XXXVII. Valores del espectro de ruido generado por la fuente. Medida 3.

Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
dB	17,5	32,6	23,2	23	41,3	30,7	28,1	37,4	20,2	19	31,3	24,2	24,5	24,1
Hz	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10 k
dB	23,6	21	20,3	19,7	18	16,5	14,8	16,5	13	10,9	8,4	7,6	7,5	8

Tabla. XXXVIII. Valores del espectro del ruido de fondo.

Como se puede comprobar de las tablas anteriores, el ruido de fondo no influye en los niveles de medida de la actividad. Por otro lado, se puede comprobar que existe una componente tonal a 250 Hz observando los valores espectrales en tercios de octava, por lo que habrá que realizar la corrección por componentes tonales. La Tabla. XXXVIII permite estipular que el tono puro no pertenece al ruido de fondo.

Para los casos donde el nivel de ruido de fondo se sitúe dentro del rango de 3 dB a 10 dB por debajo del nivel de presión sonora medido, se debe realizar la corrección de acuerdo con la ecuación:

$$L_{Aeqcorr,T} = 10 * \log(10^{0.1*L_{Aeq,T}} - 10^{0.1*L_{AeqRF,T}}) \quad (19)$$

donde:

$L_{Aeqcorr,T}$ es el nivel corregido;

$L_{Aeq,T}$ es el nivel medido;

$L_{AeqRF,T}$ es el nivel medido de ruido de fondo

En la siguiente Tabla. XXXIX se puede observar el cálculo realizado para obtener el índice de ruido corregido:

Medida	Ruido			Componente tonal					K_t		$L_{keq,5s}$ (dBA)
	$L_{Aeq,5s}$	$L_{AeqRF,5s}$	$L_{Aeqcorr,5s}$	L_f	$L_{f_{inf}}$	$L_{f_{sup}}$	L_s	L_t			
1	73,9	30,2	73,9	82,2	64,1	63,5	63,8	18	6	79,9	80
2	73,6	30,2	73,6	81,9	64,4	63,3	63,9	18	6	79,6	
3	73,8	30,2	73,8	82,1	64,2	63,4	63,8	18	6	79,8	
Componente tonal: 250 Hz											

Tabla. XXXIX. Corrección por componentes tonales y resultado de $L_{keq,5s}$.

Al tratarse de una prueba, más que de un ensayo real, con un ruido uniforme y con un alto nivel de emisión, los valores de $L_{Aeq,5s}$ medidos en el aula, como se ve en la Tabla. XXXIX, son prácticamente los mismos. Por tanto la desviación estándar será muy baja y como consecuencia la incertidumbre típica de tipo A debida a la repetibilidad de la medida será insignificante.

El valor del índice corregido, $L_{keq,5s}$, es de 80 dBA.

6.2. Incertidumbre de medida.

6.2.1. Conceptos básicos.

La Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM), define la *incertidumbre de medida* como un parámetro, asociado al resultado de una medición,

que caracteriza la dispersión de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando.

“La expresión del resultado de una medición está completa sólo cuando contiene tanto el valor atribuido al mensurando como la incertidumbre de medida asociada a dicho valor” [6]

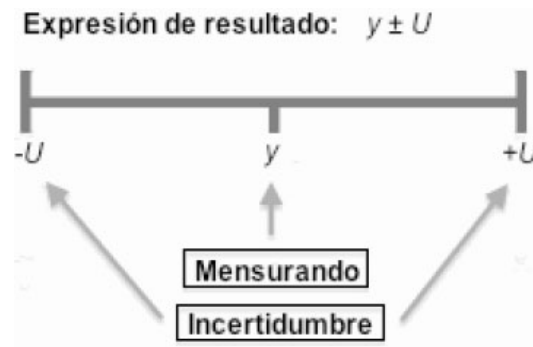


Figura 69. Expresión del resultado de una medición. Mensurando con su incertidumbre asociada.

Los mensurandos son las magnitudes particulares objeto de una medición. Es frecuente que sólo se halle un mensurando o magnitud de salida Y , que depende de una serie de magnitudes de entrada X_i ($i = 1, 2, \dots, N$), de acuerdo con la relación funcional de la ecuación (20).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (20)$$

La *relación funcional* f representa el procedimiento de medición y el método de evaluación. Describe cómo se obtienen los valores de la magnitud de salida Y , a partir de los valores de las magnitudes de entrada X_i .

Todas las magnitudes involucradas se tratan como variables aleatorias (puesto que son variables que pueden tomar cualquier valor y se les asocia una distribución de probabilidad), de manera que tanto las magnitudes de entrada como la de salida serán consideradas también como variables aleatorias.

El conjunto de magnitudes de entrada X_i puede clasificarse en dos categorías, dependiendo de la forma en que se haya obtenido el valor de la magnitud y su incertidumbre asociada:

- Magnitudes cuyos valores e incertidumbres se determinan directamente en la medición. Estos valores pueden obtenerse, por ejemplo, a partir de una única observación, observaciones reiteradas o juicios basados en la experiencia. Pueden exigir la determinación de correcciones de las lecturas del instrumento y de las magnitudes de influencia, como la temperatura ambiental, la presión barométrica o la humedad relativa
- Magnitudes cuyo valor e incertidumbre se incorporan a la medición desde fuentes externas, tales como magnitudes asociadas a patrones de medida calibrados, materiales de referencia certificados o datos de referencia obtenidos de manuales.

Una estimación del mensurando Y , la estimación de salida expresada por y , se obtiene utilizando las estimaciones de entrada x_i como valores de las magnitudes de entrada X_i .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Se supone que los valores de entrada son estimaciones óptimas en las que se han corregido todos los efectos significativos. De lo contrario, se habrán introducido las correcciones necesarias como magnitudes de entrada diferentes.

6.2.2. Método clásico: Ley de propagación de incertidumbres.

6.2.2.1. Preámbulo.

En el caso de las variables aleatorias, la varianza de su distribución o la raíz cuadrada positiva de la varianza, llamada desviación típica, se utiliza como medida de la dispersión de los valores. La incertidumbre típica de medida asociada a la estimación de salida o al resultado de la medición y , expresada por $u(y)$, es la desviación típica del mensurando Y . Se determina a partir de los valores estimados x_i de las magnitudes de entrada X_i y sus incertidumbres típicas asociadas $u(x_i)$.

La incertidumbre de medida asociada a las estimaciones de entrada se evalúa utilizando uno de los siguientes métodos: “Tipo A” o “Tipo B”.

La evaluación *Tipo A* de la incertidumbre típica es el método de evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones.

La evaluación *Tipo B* de la incertidumbre típica es el método de evaluar la incertidumbre mediante un procedimiento distinto al análisis estadístico de una serie de observaciones. En este caso, la estimación de la incertidumbre típica de basa en otros conocimientos científicos.

6.2.2.2. Evaluación de la incertidumbre tipo A.

La evaluación de la incertidumbre típica “*Tipo A*” se utiliza cuando se han realizado un número n de observaciones independientes bajo las mismas condiciones de medida de una de las magnitudes de entrada X_i .

En la mayor parte de los casos, la mejor estimación disponible de la esperanza matemática μ_q de una magnitud q que varía al azar [es decir, de una variable aleatoria], de la que se han obtenido n observaciones independientes q_k en las mismas condiciones de medida, es la media aritmética \bar{q} de las n observaciones:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (21)$$

La varianza experimental de las observaciones q_k , que estima la varianza σ^2 de la distribución de probabilidad de q , viene dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (22)$$

Su raíz cuadrada positiva $s(q_k)$, denominada desviación típica experimental, representa la variabilidad de los valores observados q_k , o más específicamente, su dispersión alrededor de su media \bar{q} .

La mejor estimación de la varianza de la media es la varianza experimental de la media que viene dada por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (23)$$

La varianza experimental de la media, y la desviación típica experimental de la media $s(\bar{q})$, igual a su raíz cuadrada positiva, pueden ser utilizadas como medida de la incertidumbre de \bar{q} . Normalmente se utiliza la desviación típica experimental de la media como estimador de la *incertidumbre típica tipo A*, $u(x_i) = s(\bar{q})$.

6.2.2.3. Evaluación de la incertidumbre Tipo B.

La incertidumbre típica $u(x_i)$ de *tipo B* se evalúa aplicando un juicio científico basado en toda la información disponible sobre la posible variabilidad de X_i . Los valores pueden derivarse de:

- Datos obtenidos de mediciones anteriores
- Experiencia o conocimientos generales sobre el comportamiento y las propiedades de los materiales e instrumentos relevantes
- Especificaciones de los fabricantes
- Datos obtenidos de calibraciones y de otros certificados
- Incertidumbres asignadas a los datos de referencia obtenidos de manuales.

Algunos casos frecuentes son:

- *Cuando se conoce la incertidumbre expandida de esa componente:* se divide el valor de la incertidumbre expandida por el factor de cobertura utilizado para obtenerla, por ejemplo el certificado de calibración del equipo utilizado en las medidas:

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad (24)$$

- *Cuando se pueden estimar los límites de variación ($\pm a$) de una magnitud de entrada:* se asume una distribución rectangular de probabilidad.

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (25)$$

6.2.2.4. Determinación de la incertidumbre típica combinada.

La incertidumbre típica de y , siendo y la estimación del mensurando Y , es decir, el resultado de medida, se obtiene componiendo las incertidumbres típicas de las estimaciones de entrada x_1, x_2, \dots, x_N . Esta incertidumbre típica combinada de la estimación y , se nota como $u_c(y)$.

La incertidumbre típica combinada $u_c(y)$, cuando existe una relación lineal entre la salida y las magnitudes de entrada, es la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada $u_c^2(y)$, dada por:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (26)$$

Cada $u(x_i)$ es la incertidumbre típica evaluada en función del tipo de incertidumbre (A o B).

Las derivadas parciales $\partial f / \partial x_i$ se denominan coeficientes de sensibilidad. Estos coeficientes describen como varía la incertidumbre de salida de la magnitud y , en función de las variaciones de las incertidumbres de las magnitudes de entrada x_1, x_2, \dots, x_N . Por tanto la ecuación (26) se puede escribir de la forma:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \quad (27)$$

donde c_i son los coeficientes de sensibilidad:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (28)$$

La incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ es una desviación típica estimada, y caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando Y .

6.2.2.5. Determinación de la incertidumbre expandida.

La incertidumbre expandida U se obtiene multiplicando la incertidumbre típica combinada $u_c(y)$ por un factor de cobertura k que garantice un determinado nivel de confianza p .

$$U = k * u_c(y) \quad (29)$$

El intervalo de cobertura $y - U \leq Y \leq y + U$ se establece considerando la función de densidad de probabilidad de Y como gaussiana o normal, si los grados de libertad asociados a $u(y)$ son infinitos ($v_{eff} = \infty$), o como una distribución *t-student*, si son finitos ($v_{eff} < \infty$).

En muchas ocasiones, puede atribuirse una distribución normal al mensurando, pero cuando se trata de una distribución *t-student*, es necesario el cálculo de los grados de libertad efectivos para la obtención del factor de cobertura k . Dicho cálculo se realiza mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (30)$$

La obtención de los grados de libertad efectivos de la ecuación (30) implica conocer el número de grados de libertad v_i de cada incertidumbre típica. Para una componente obtenida mediante evaluación *Tipo A*, v_i es igual a $n - 1$, para una magnitud única estimada a partir de n observaciones independientes. Para una componente obtenida mediante evaluación *Tipo B*, v_i depende de la fiabilidad que pueda suponerse al valor de dicha componente. En la práctica puede considerarse como conocida con exactitud lo que implica que $v_i \rightarrow \infty$.

Para distribuciones *t-student*, el factor de cobertura k se toma en función del nivel de confianza deseado p y de los grados de libertad efectivos obtenidos v_{eff} . Para distribuciones normales k se toma solamente en función de p .

Cuando los grados efectivos de libertad son mayores de 30, la forma de la distribución *t-student* se asimila a una distribución normal, y por tanto, puede tomarse un valor de k igual a 2 para un nivel de confianza del 95 %.

6.2.3. Aplicación del enfoque clásico de la GUM al método de evaluación.

6.2.3.1. Modelo matemático a estudiar.

El modelo matemático a estudiar es el índice de ruido continuo equivalente corregido definido por la expresión (3):

$$L_{Keq,T} = L_{Aeq,T} + K_t + K_f + K_i$$

Los parámetros de corrección asociados a las componentes tonales, impulsivas y de baja frecuencia son seguros y no se determina en este trabajo la influencia que pudieran tener como fuentes de incertidumbre.

6.2.3.2. Incertidumbre Tipo A.

Las diferentes indicaciones de $L_{Aeq,T}$ son las causantes de la incertidumbre debida a la repetibilidad, denominada incertidumbre de tipo A.

$$u_A(L_{Aeq,T}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,153}{\sqrt{3}} = 0,088 \text{ dBA} \quad (31)$$

Donde s es la desviación típica experimental, que representa la variabilidad de los tres valores medidos.

6.2.3.3. Incertidumbre Tipo B.

La incertidumbre de calibración es una incertidumbre heredada de la calibración del sistema. Para ello es necesario el certificado de calibración así como las especificaciones facilitadas por el fabricante.

La incertidumbre debida a la resolución y a la deriva son incertidumbres asociadas al equipo. La deriva indica cuánto ha variado la sensibilidad del equipo entre calibraciones sucesivas.

La Tabla. XL resume los valores de las incertidumbres de tipo B asociadas al equipo de medida.

Magnitud x_i	Incertidumbre típica	Distribución de probabilidad	Divisor	Contribución a la incertidumbre (dBA)
Resolución (u_{res})	0,10	Rectangular	$2 * \sqrt{3}$	0,029
Calibración (u_{cal})	0,16	Normal	2	0,080
Deriva (u_{der})	0,55	Rectangular	$2 * \sqrt{3}$	0,159
Temperatura (u_{tem})	0,015*40	Rectangular	$2 * \sqrt{3}$	0,173
Humedad (u_{hum})	0,2	Rectangular	$2 * \sqrt{3}$	0,058
Presión (u_{pre})	0,019*3	Rectangular	$2 * \sqrt{3}$	0,016

Tabla. XL. Valores de incertidumbre típica debida a la instrumentación.

Con todos los datos obtenidos se calcula la incertidumbre *Tipo B* debida a la instrumentación, $u_B(L_{Aeq,5s})$ de la siguiente manera, ecuación (32):

$$u_B(L_{Aeq,T}) = \sqrt{u_{res}^2 + u_{cal}^2 + u_{der}^2 + u_{tem}^2 + u_{hum}^2 + u_{pre}^2} = 0,257 \text{ dBA} \quad (32)$$

Otra incertidumbre de *Tipo B* a tener en cuenta, es la incertidumbre debida al redondeo de resolución, que se ha definido como u_{resRD} , con valor de $\pm 0,5$ dBA que establece el Real Decreto:

$$u_{resRD} = \frac{1}{2 * \sqrt{3}} = 0,289 \text{ dBA} \quad (33)$$

Por otro lado la incertidumbre debida a la fase preliminar, calculada en el capítulo anterior, se considerará incertidumbre de Tipo B.

En este caso en concreto, considerando el tamaño del aula y el ruido empleado, el valor de incertidumbre habiendo realizado la inspección del punto de máxima afección para seis puntos, es el mostrado en la Tabla. XLI.

Puntos en la fase preliminar	u_{faspre} (dBA)
6	1,7

Tabla. XLI. Incertidumbre típica de Tipo B asociada a la fase preliminar del punto de evaluación.

Estas dos fuentes de incertidumbre se adicionaran al final, en el cálculo de la incertidumbre combinada del resultado de salida.

6.2.3.4. Incetridumbre combinada.

El resultado de una medición se suele expresar como el valor de la semi-amplitud de un intervalo simétrico, como el mostrado en la ecuación (34), en el que puede esperarse esté comprendida una fracción importante de la distribución de valores que podrían ser razonablemente atribuidos a y .

$$Y = [y - u_c; y + u_c] \quad (34)$$

El objetivo de las mediciones es encontrar el valor máximo por lo tanto el valor verdadero no se va a encontrar por debajo de $L_{Aeq,T}$ medido, no se va a encontrar a la izquierda, es por ello que el intervalo de incertidumbre no puede ser simétrico, siendo en tal caso:

$$Y = [y - u_{clzq}(L_{Keq,T}); y + u_{cDer}(L_{Keq,T})] \quad (35)$$

donde:

$$u_{Clzq}(L_{Keq,T}) = \sqrt{u_A^2(L_{Aeq,T}) + u_B^2(L_{Aeq,T}) + u_{resRD}^2} = 0,397 \text{ dBA}$$

$$u_{CDer}(L_{Keq,T}) = \sqrt{u_A^2(L_{Aeq,T}) + u_B^2(L_{Aeq,T}) + u_{resRD}^2 + u_{faspre}^2} = 1,746 \text{ dBA}$$

La incertidumbre combinada en el lado positivo del intervalo, en función del número de puntos empleado en la fase preliminar es la mostrada en la Tabla. XLII:

Puntos en la fase preliminar	$u_{CDer}(L_{Keq,T})$
6	1,746

Tabla. XLII. Incertidumbre combinada en función del número de puntos de la fase preliminar.

6.2.3.5. Incetidumbre expandida U.

Determinada la incertidumbre combinada, el siguiente paso es obtener la incertidumbre expandida. Para ello hay que determinar el factor de cobertura, k , para un nivel de confianza del 95 %, valor que se obtendrá a partir de los grados efectivos de libertad utilizando la ecuación (30):

$$v_{eff} = \frac{1,746^4}{\frac{0,088^4}{3-1}} = 309939 \gg 30$$

Valor mayor de 30 y por tanto el factor de cobertura es, $k = 2$, para un nivel de confianza del 95 %.

Por tanto la incertidumbre expandida, U , es:

$$U = [-0,8; +3,5] \text{ dBA}$$

Una vez determinada la incertidumbre expandida, el resultado de la medición del índice de ruido continuo equivalente corregido más la incertidumbre será (Tabla. XLIII), la siguiente:

Puntos en la fase preliminar	$L_{Keq,Ti}$ (dBA)
6	80 [-1; +3]

Tabla. XLIII. Índice de ruido con la incertidumbre asociada a la medida para seis puntos en la fase preliminar.

El resultado de medición, L_{K_{eq}, T_i} , se debe expresar con un número entero, es por ello, que en el informe final, la incertidumbre también se expresara con un número entero.

Si en vez de elegir seis puntos en la fase preliminar se hubiese elegido una cantidad inferior, los resultados obtenidos serían los mostrados en la Tabla. XLIV:

Puntos en la fase preliminar	L_{K_{eq}, T_i} (dBA)
3	80 [-1; +5]
4	80 [-1; +4]
5	80 [-1; +4]

Tabla. XLIV. Índices de ruido con la incertidumbre asociada a la medida.

6.2.3.6. Incertidumbre debida al sonido residual.

En el caso que el ruido de fondo presente durante el ensayo afecte a la medida, el modelo matemático del índice de ruido debe particularizarse para este caso mediante la expresión:

$$L_{K_{eq}, T} = L_{Aeqcorr, T} + K_t + K_f + K_i \quad (36)$$

donde:

$$L_{Aeqcorr, T} = 10 * \log(10^{0.1 * L_{Aeq, T}} - 10^{0.1 * L_{AeqRF, T}})$$

De este modo además de considerar la incertidumbre asociada a $L_{Aeq, T}$ (la cual no va a cambiar), habrá que estimar la incertidumbre asociada a $L_{AeqRF, T}$ que es la nueva variable de entrada.

Al igual que sucedía con $L_{Aeq, T}$, para $L_{AeqRF, T}$ la incertidumbre típica debida a la repetibilidad vendrá dada por la expresión (31).

Por otro lado, de la misma forma que sucedía con $L_{Aeq, T}$, para $L_{AeqRF, T}$, la incertidumbre típica de tipo B asociada al instrumento de medida tendrá un valor igual a $u_B(L_{AeqRF, T})$, expresada anteriormente según la ecuación (32).

Para obtener la incertidumbre típica combinada es necesario obtener los coeficientes de sensibilidad que relacionan las magnitudes de entrada con las magnitudes de salida, según las ecuaciones:

$$C_{L_{Aeq,5s}} = \frac{\partial}{\partial L_{Aeq,5s}} (10 * \log(10^{0.1*L_{Aeq,5s}} - 10^{0.1*L_{AeqRF}})) =$$

$$= \frac{10^{0.1*L_{Aeq,5s}}}{10^{0.1*L_{Aeq,5s}} - 10^{0.1*L_{AeqRF}}} \quad (37)$$

$$C_{L_{AeqRF}} = \frac{\partial}{\partial L_{AeqRF}} (10 * \log(10^{0.1*L_{Aeq,5s}} - 10^{0.1*L_{AeqRF}})) =$$

$$= \frac{10^{0.1*L_{AeqRF}}}{10^{0.1*L_{AeqRF}} - 10^{0.1*L_{Aeq,5s}}} \quad (38)$$

La incertidumbre combinada del índice de ruido continuo equivalente corregido, para cada lado del intervalo, será:

$$u_{Clzq}(L_{Keq,T}) = \sqrt{[u_C(L_{Aeq,T}) * C_{L_{Aeq,T}}]^2 + [u_C(L_{AeqRF,T}) * C_{RF}]^2 + u_{resRD}^2}$$

$$u_{CDer}(L_{Keq,T}) = \sqrt{[u_C(L_{Aeq,T}) * C_{L_{Aeq,T}}]^2 + [u_C(L_{AeqRF,T}) * C_{RF}]^2 + u_{resRD}^2 + u_{faspre}^2}$$

donde:

$$u_C(L_{Aeq,T}) = \sqrt{u_A^2(L_{Aeq,T}) + u_B^2(L_{Aeq,T})}$$

y

$$u_C(L_{AeqRF,T}) = \sqrt{u_A^2(L_{AeqRF,T}) + u_B^2(L_{AeqRF,T})}$$

Se obtienen a partir de las incertidumbres tipo A y tipo B calculadas según las expresiones (31) y (32).

Determinada la incertidumbre combinada se obtendrá la incertidumbre expandida multiplicando la incertidumbre combinada por un factor de cobertura, k , para un nivel de cobertura del 95 %.

El factor de cobertura se determinará a partir de la fórmula de Welch-Satterthwaite (30). Para finalmente obtener la incertidumbre expandida:

$$U = [u_{Clzq}(L_{Keq,T}) * k; u_{CDer}(L_{Keq,T}) * k]$$

7 Conclusiones

7.1. Conclusiones

El presente trabajo se ha centrado en una evaluación completa de la incertidumbre generada en la medición del ruido transmitido al interior según el Anexo IV del Real Decreto 1367/2007.

Para ello se han tenido en cuenta todas las causas de incertidumbre (repetibilidad, instrumentación...) que afectan a la medida, cuantificado la fuente de incertidumbre producida por la elección del punto de medición, no estudiada hasta ahora.

Se han determinado los valores de la incertidumbre debida a la elección del punto de evaluación en su fase preliminar en función del número de puntos elegidos, considerada de tipo B (u_{faspre}), que van desde 2,3 dBA (3 puntos) hasta 1,7 dBA (6 puntos):

Puntos en la fase preliminar	u_{faspre} (dBA)
3	2,3
4	2,1
5	1,9
6	1,7

Los valores obtenidos en el intervalo de incertidumbre expandida (Tabla. XLV) han dado resultados dentro del rango proporcionado por los ejercicios de intercomparación. Lo que indica, que la mayoría de laboratorios participantes no aciertan con el punto de medición, siendo esta la razón por la que se obtienen valores de precisión, r y R , tan elevados.

Puntos en la fase preliminar	U (dBA)
3	[-1; +5]
4	[-1; +4]
5	[-1; +4]
6	[-1; +3]

Tabla. XLV. Incertidumbre expandida.

Analizando todas las causas de incertidumbre, se puede concluir, observando la Figura 70, que la principal fuente de incertidumbre que produce esta dispersión en los resultados de medición es la debida a la elección del punto de evaluación en su fase preliminar.

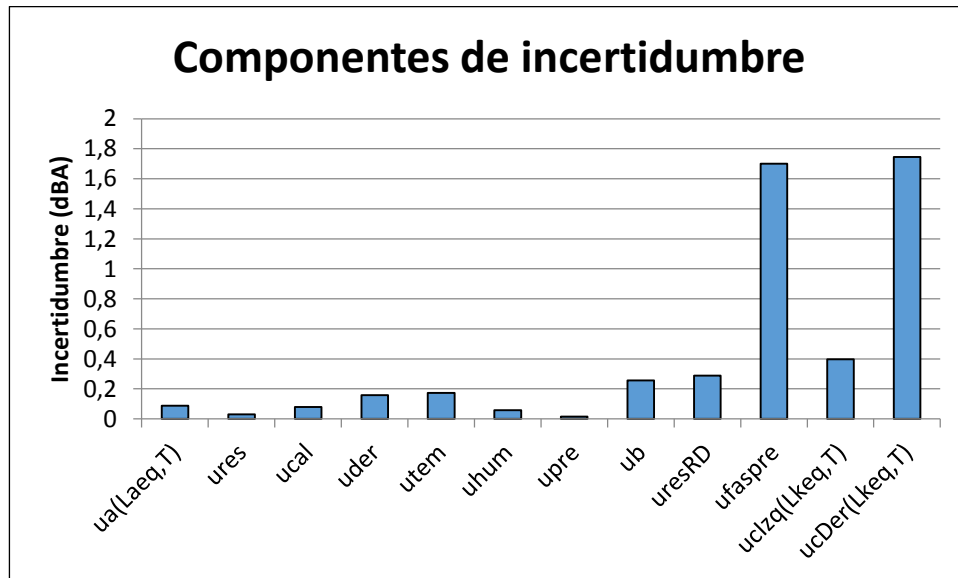


Figura 70. Contribución de cada componente a la incertidumbre combinada de $L_{K_{eq},T}$ eligiendo 6 puntos en la fase preliminar.

Dentro de las contribuciones asociadas al equipo de medida, la incertidumbre asociada a la deriva toma el valor más alto, aunque despreciable; la incertidumbre asociada a la presión, temperatura y humedad, salvo que se esté en condiciones extremas, tienen un efecto despreciable en la incertidumbre de la magnitud de salida.

La incertidumbre debida a repetibilidad de las medidas, como se puede apreciar es muy baja, no teniendo influencia en la incertidumbre combinada. Aunque no tiene por qué ser siempre así; en casos más realistas con ruidos esporádicos, la incertidumbre de tipo A podría ser más alta, en un margen de 1 - 2 dBA, teniendo en cuenta, según el Real Decreto 1367/2007, que las mediciones se consideran validas cuando la diferencia entre los valores extremos obtenidos es menor o igual a 6 dBA.

Otra conclusión complementaria que se puede exponer es que a la hora de determinar el punto de evaluación es conveniente realizar la fase preliminar, si la estancia lo permite, en un mínimo de cinco puntos. Con cinco puntos hay una probabilidad más que aceptable de encontrar el valor máximo, en una zona de aceptación para un nivel de significación del 10 %.

Conseguir estos puntos es muy complicado en la realidad, ya que normalmente las estancias donde se realizan las inspecciones son de un tamaño pequeño además de disponer de diverso mobiliario y complementos (lámparas, plantas...) que complican conseguir como mínimo los tres puntos que establece el Real Decreto. Si no es así se realiza una única medida en el centro del recinto.

Por otro lado, también se ha detallado el proceso a realizar para determinar la incertidumbre debida a la corrección por ruido de fondo, y aunque en el ensayo no haya tenido que aplicarse, en las inspecciones reales es muy difícil que el ruido de fondo no afecte a la medida lo que provocaría un aumento en la incertidumbre de medida.

De las gráficas de superficie de niveles globales, aportadas en el capítulo 4, se puede observar que el nivel máximo no tiene por qué encontrarse en el punto más cercano a la fuente. A priori el nivel máximo no se sabe dónde se puede encontrar en la estancia, siendo muy aleatoria su posición.

Comentar que el Real Decreto no establece una distancia mínima entre puntos, pero una posible recomendación sea la establecida por la Norma UNE ISO 1996-2 de situar los puntos a una distancia mínima de 0,7 m. Otra posible recomendación, aportada por el Decreto 176/2009 de Cataluña, sea la de establecer los puntos de medida a una distancia mínima de 1,5 m.

8

Referencias Bibliográficas

- [1] REAL DECRETO 13667/2007, de 19 de Octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- [2] “Probabilidad y estadística. Teoría y 760 problemas resueltos” – Murray R. Spiegel – Editorial McGraw-Hill.
- [3] UNE-ISO 1996-2 – Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.
- [4] “Glosario de términos acústicos”. Sociedad española de acústica.
- [5] “Ruido y Salud” – Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.
- [6] “Evaluación de datos de precisión. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida” – Centro Español de Metrología.
- [7] José Javier Muruzábal Irigoyen. “Teoría de Muestras e Inferencia Estadística” – Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [8] “dB or not dB? – ROHDE & SCHWARZ”.

http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma98/1MA98_11e_dB_or_not_dB.pdf
- [9] Informe de intercomparación, Programa AQUUS-2014_4 – “RPS-Qualitas SL – ACUSTILAB.
- [10] “Fundamentos de Inferencia Estadística” – Luis Ruiz-Maya Perez y Javier Martin Pliego. Editorial AC.
- [11] “Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos” – George C. Canavos. Editorial McGraw-Hill.
- [12] “Manual de Acústica, Ruido y Vibraciones. Fundamentos Básicos y Sistemas de Control” – Pedro Flores Pereita.

ANEXOS

ANEXO I

Macro Excel

Sub Anotar()

Dim i As Long

Dim j As Long

For j = 9 To 18

 For i = 31 To 40

 Cells(i, j) = Range("H31").Value

 Next i

 For i = 88 To 97

 Cells(i, j) = Range("H88").Value

 Next i

Next j

For j = 22 To 31

 For i = 51 To 60

 Cells(i, j) = Range("U51").Value

 Next i

 For i = 127 To 136

 Cells(i, j) = Range("U127").Value

 Next i

Next j

End Sub

ANEXO II

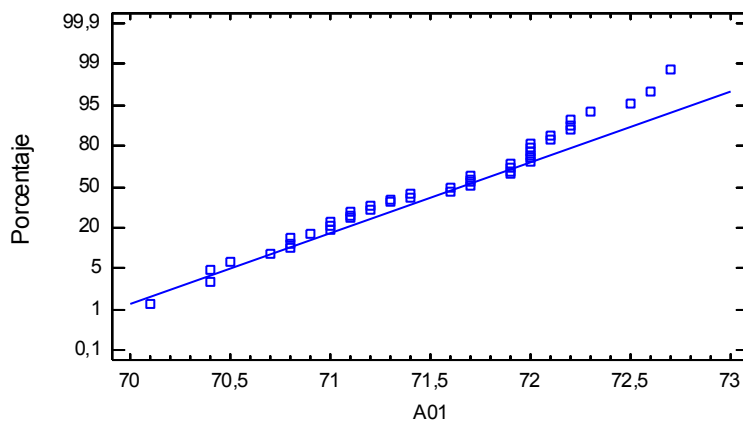
Resumen Estadístico para A01

Recuento	46
Promedio	71,5
Mediana	71,7
Varianza	0,403
Desviación Estándar	0,635
Coeficiente de Variación	0,888%
Mínimo	70,1
Máximo	72,7
Rango	2,6
Sesgo	-0,264
Sesgo Estandarizado	-0,732
Curtosis	-0,722
Curtosis Estandarizada	-0,999

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A01. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



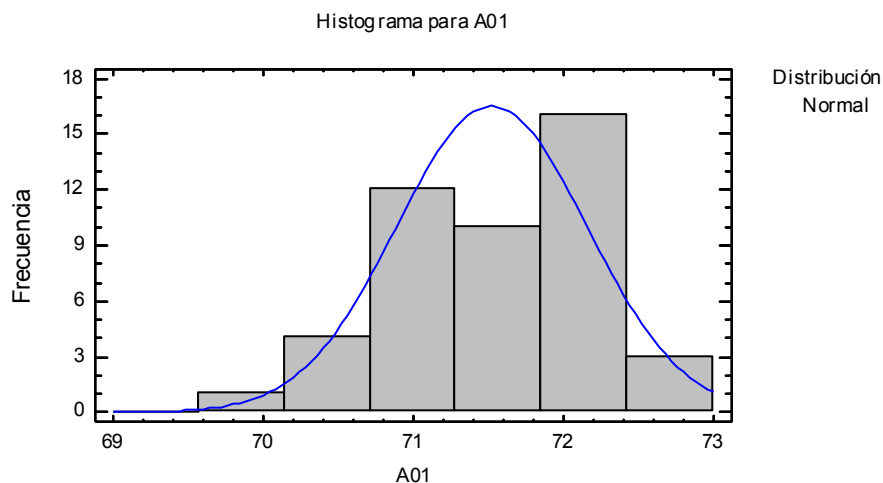
Pruebas de Normalidad para A01

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,963	0,232

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,0728
DMENOS	0,137
DN	0,137
Valor-P	0,353

Anderson-Darling A²

	Normal
A ²	0,572
Forma Modificada	0,582
Valor-P	0,13*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A01 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,137. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para A02

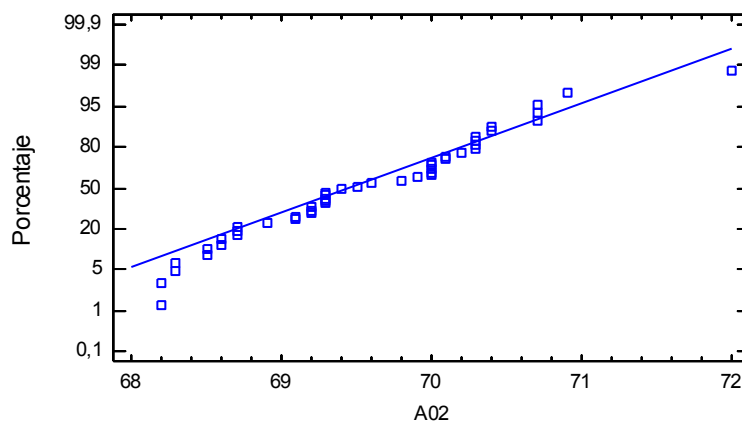
Recuento	46
Promedio	69,6
Mediana	69,5
Varianza	0,715
Desviación Estándar	0,846
Coefficiente de Variación	1,22%
Mínimo	68,2
Máximo	72,0
Rango	3,8
Sesgo	0,335
Sesgo Estandarizado	0,928
Curtosis	-0,0179
Curtosis Estandarizada	-0,0248

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A02. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar

cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para A02

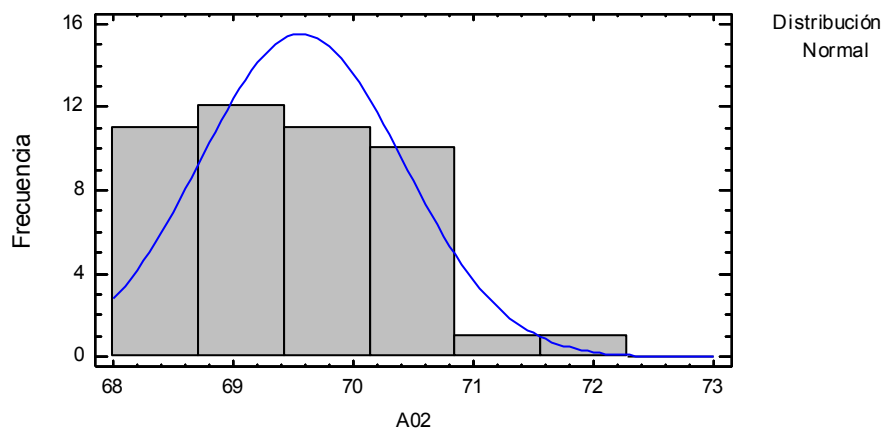
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,959	0,171

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para A02



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A02

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,102
DMENOS	0,109
DN	0,109
Valor-P	0,65

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,499
Forma Modificada	0,508
Valor-P	0,199*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A02 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,109. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

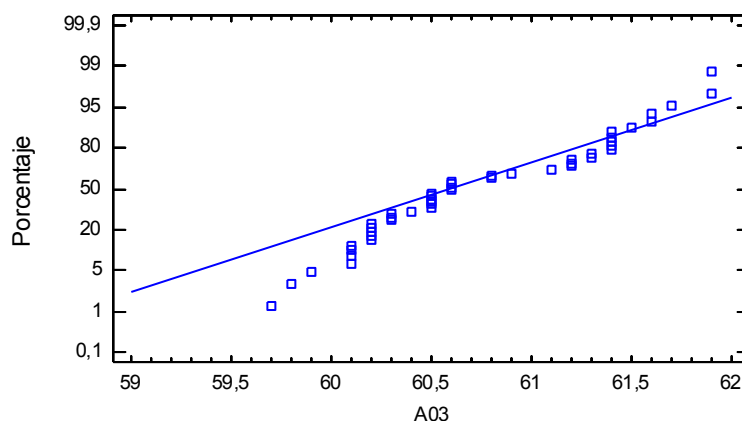
Resumen Estadístico para A03

Recuento	46
Promedio	60,7
Mediana	60,6
Varianza	0,359
Desviación Estándar	0,599
Coefficiente de Variación	0,986%
Mínimo	59,7
Máximo	61,9
Rango	2,2
Sesgo	0,28
Sesgo Estandarizado	0,775
Curtosis	-1,09
Curtosis Estandarizada	-1,51

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para A03. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

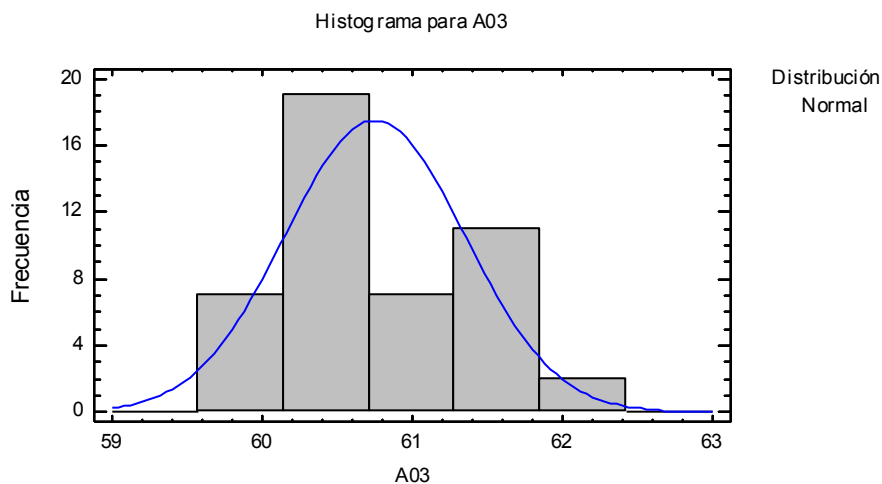
**Pruebas de Normalidad para A03**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,932	0,0124

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que A03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para A03

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,164
DMENOS	0,122
DN	0,164
Valor-P	0,168

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	1,11
Forma Modificada	1,12
Valor-P	0,00608*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si A03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de A03 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,164. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que A03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para B01

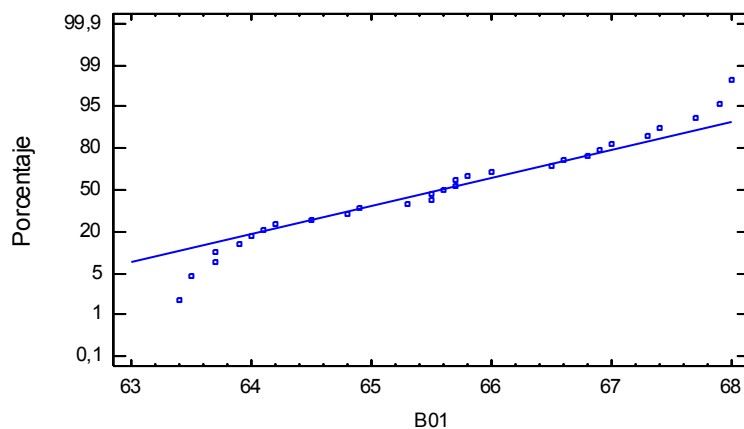
Recuento	29
Promedio	65,6
Mediana	65,6
Varianza	2,05
Desviación Estándar	1,43
Coefficiente de Variación	2,18%
Mínimo	63,4
Máximo	68,0
Rango	4,6
Sesgo	0,0847
Sesgo Estandarizado	0,186
Curtosis	-1,18
Curtosis Estandarizada	-1,3

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para B01. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para B01

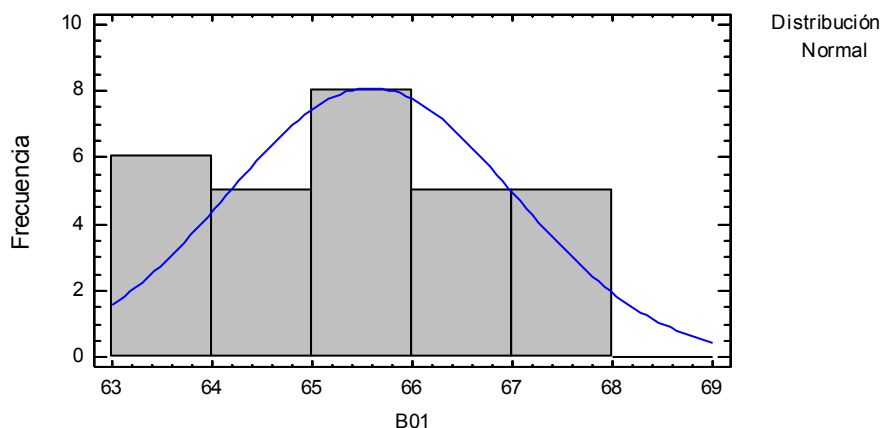
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,943	0,137

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para B01



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para B01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,109
DMENOS	0,0842
DN	0,109
Valor-P	0,881

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,418
Forma Modificada	0,43
Valor-P	0,308*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de B01 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,109. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

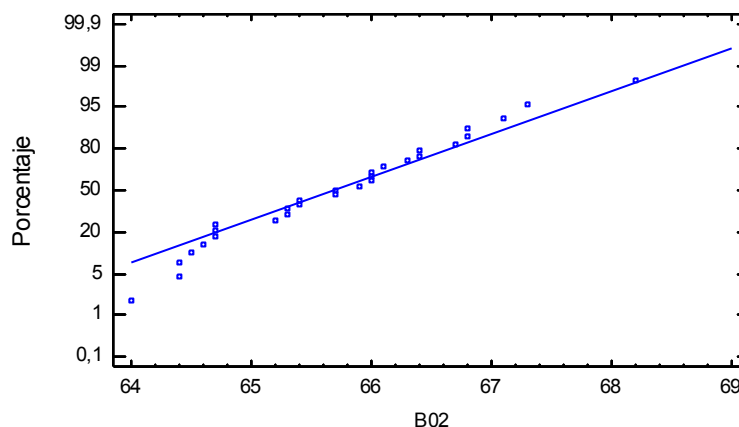
Resumen Estadístico para B02

Recuento	29
Promedio	65,7
Mediana	65,7
Varianza	1,02
Desviación Estándar	1,01
Coefficiente de Variación	1,54%
Mínimo	64,0
Máximo	68,2
Rango	4,2
Sesgo	0,35
Sesgo Estandarizado	0,769
Curtosis	-0,233
Curtosis Estandarizada	-0,256

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para B02. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

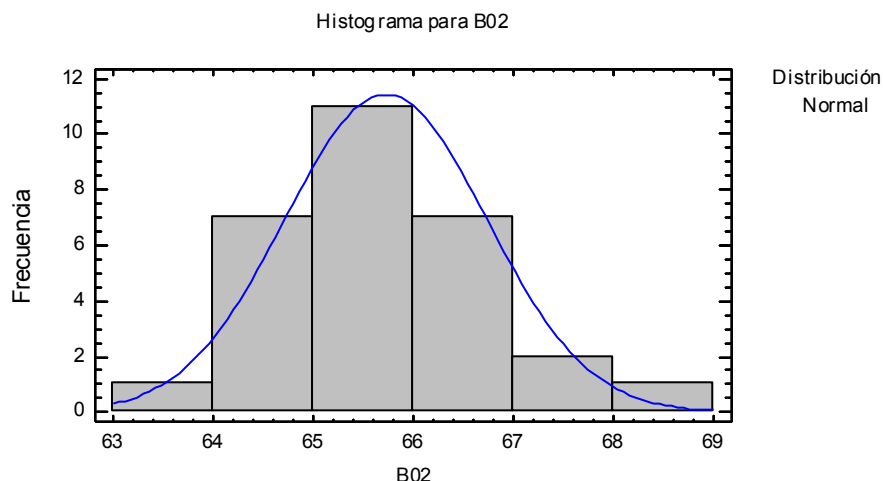
**Pruebas de Normalidad para B02**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,972	0,654

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para B02

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,12
DMENOS	0,0608
DN	0,12
Valor-P	0,796

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0,262
Forma Modificada	0,269
Valor-P	0,68*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de B02 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,12. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para B03

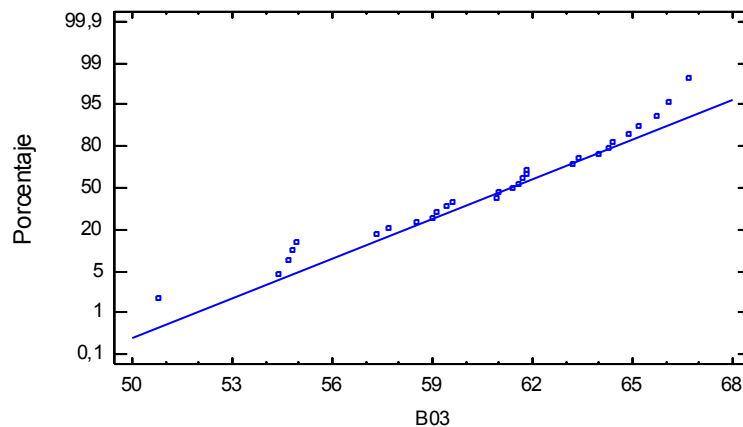
Recuento	29
Promedio	60,6
Mediana	61,4
Varianza	16,4
Desviación Estándar	4,05
Coefficiente de Variación	6,68%
Mínimo	50,8
Máximo	66,7
Rango	15,9
Sesgo	-0,573
Sesgo Estandarizado	-1,26
Curtosis	-0,255
Curtosis Estandarizada	-0,28

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para B03. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para B03

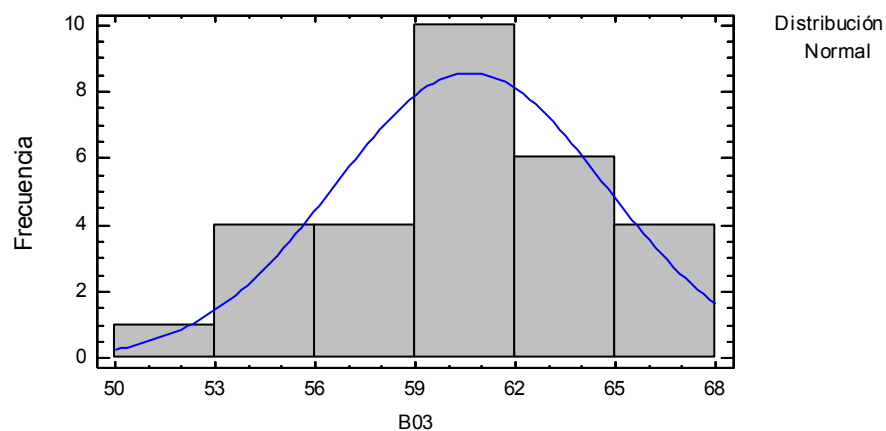
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,954	0,262

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para B03



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para B03

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,0938
DMENOS	0,113
DN	0,113
Valor-P	0,855

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,407
Forma Modificada	0,419
Valor-P	0,327*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si B03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de B03 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,113. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que B03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

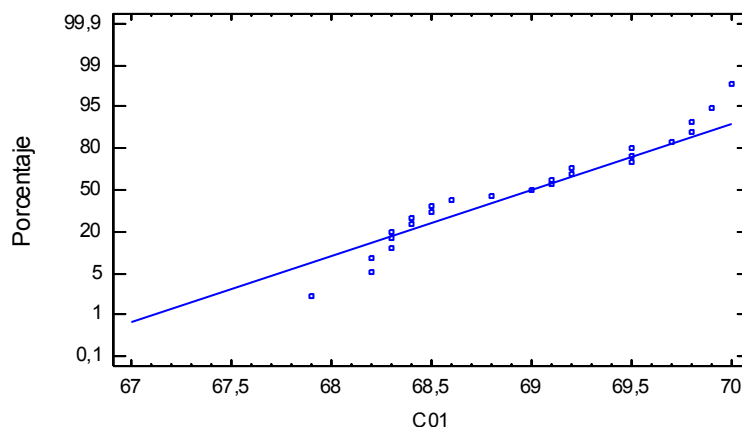
Resumen Estadístico para C01

Recuento	25
Promedio	68,9
Mediana	69,0
Varianza	0,406
Desviación Estándar	0,637
Coefficiente de Variación	0,924%
Mínimo	67,9
Máximo	70,0
Rango	2,1
Sesgo	0,153
Sesgo Estandarizado	0,313
Curtosis	-1,35
Curtosis Estandarizada	-1,38

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para C01. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

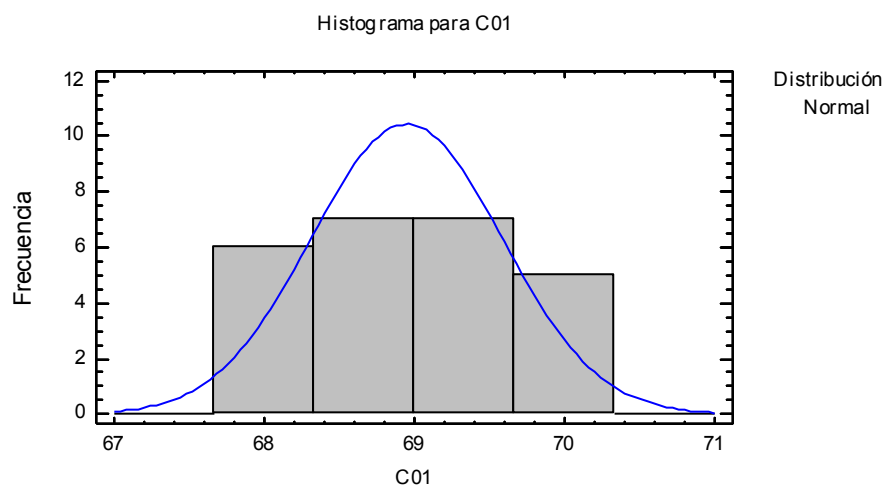
**Pruebas de Normalidad para C01**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,929	0,0856

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para C01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,159
DMENOS	0,127
DN	0,159
Valor-P	0,552

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0,661
Forma Modificada	0,683
Valor-P	0,0745*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de C01 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,159. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para C02

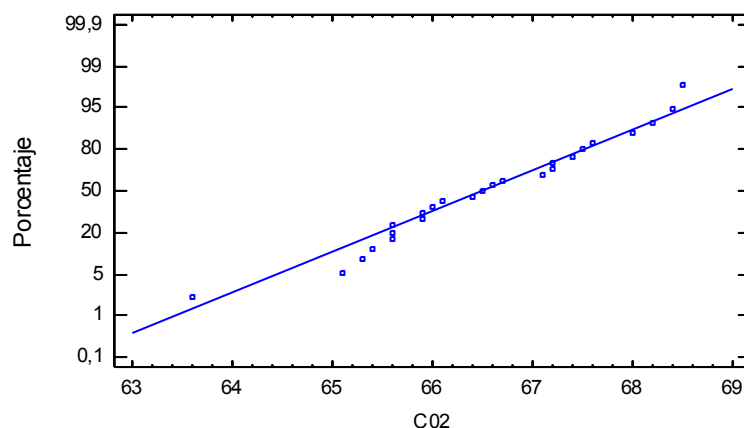
Recuento	25
Promedio	66,5
Mediana	66,5
Varianza	1,4
Desviación Estándar	1,19
Coefficiente de Variación	1,78%
Mínimo	63,6
Máximo	68,5
Rango	4,9
Sesgo	-0,259
Sesgo Estandarizado	-0,529
Curtosis	0,0483
Curtosis Estandarizada	0,0493

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para C02. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para C02

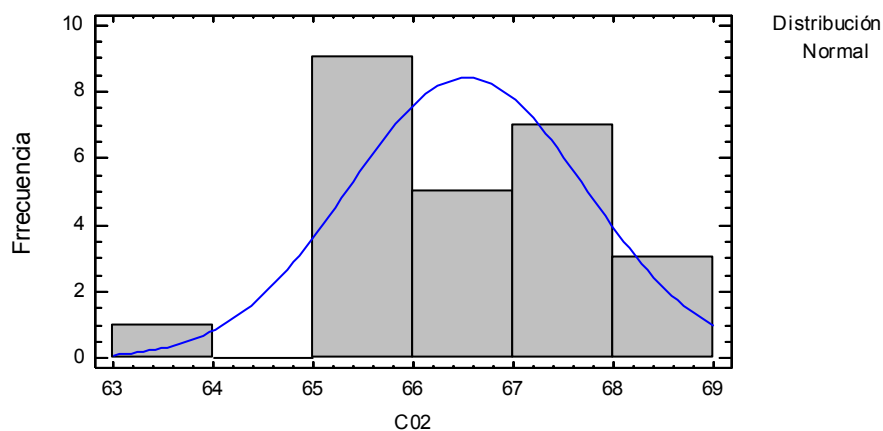
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,969	0,629

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para C02



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para C02

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,0835
DMENOS	0,0829
DN	0,0835
Valor-P	0,995

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,251
Forma Modificada	0,26
Valor-P	0,712*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de C02 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,0835. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

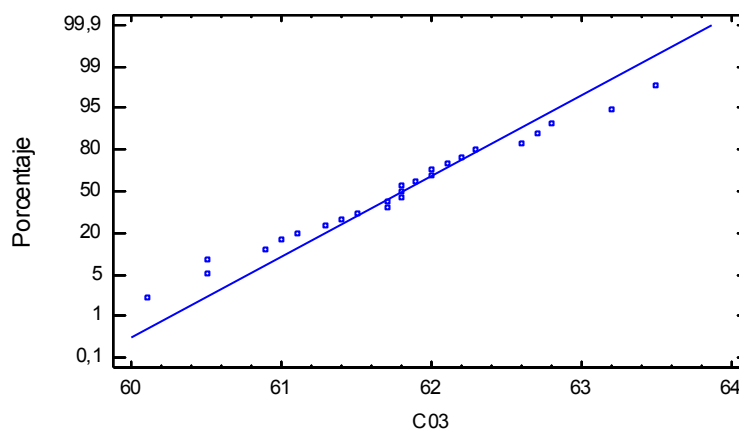
Resumen Estadístico para C03

Recuento	25
Promedio	61,8
Mediana	61,8
Varianza	0,692
Desviación Estándar	0,832
Coefficiente de Variación	1,35%
Mínimo	60,1
Máximo	63,5
Rango	3,4
Sesgo	0,0172
Sesgo Estandarizado	0,035
Curtosis	-0,0844
Curtosis Estandarizada	-0,0862

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para C03. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

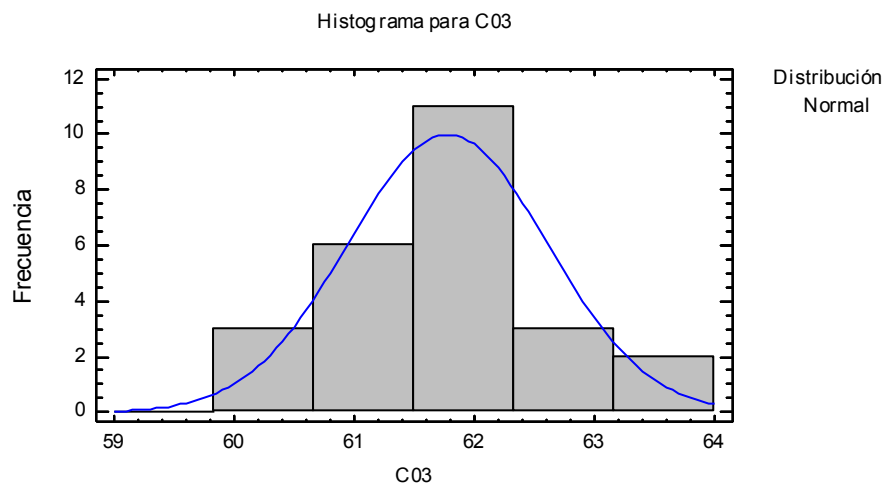
**Pruebas de Normalidad para C03**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,986	0,967

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para C03

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,0738
DMENOS	0,104
DN	0,104
Valor-P	0,951

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0,175
Forma Modificada	0,181
Valor-P	0,915*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si C03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de C03 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,104. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que C03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para D01

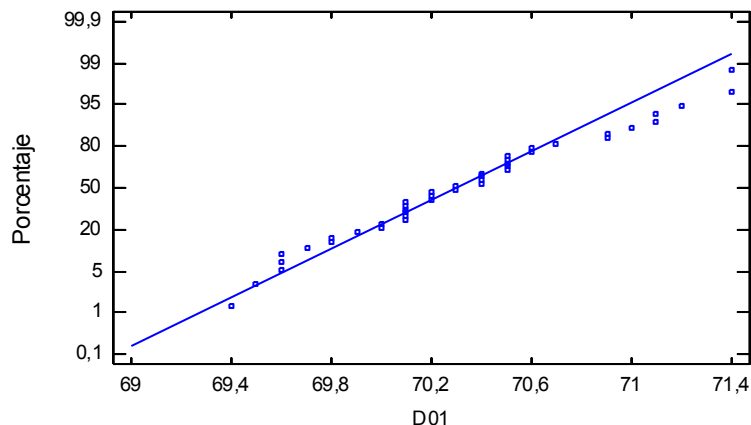
Recuento	42
Promedio	70,3
Mediana	70,3
Varianza	0,26
Desviación Estándar	0,51
Coefficiente de Variación	0,725%
Mínimo	69,4
Máximo	71,4
Rango	2,0
Sesgo	0,311
Sesgo Estandarizado	0,822
Curtosis	-0,379
Curtosis Estandarizada	-0,502

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para D01. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para D01

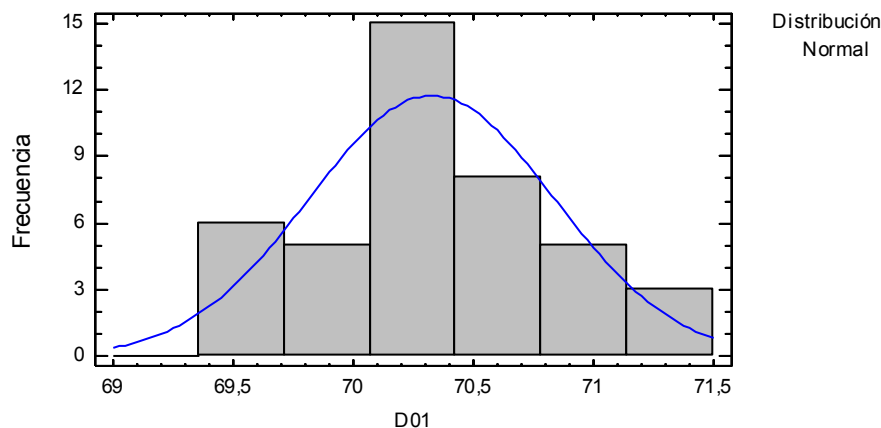
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,963	0,281

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para D01



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para D01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,105
DMENOS	0,0668
DN	0,105
Valor-P	0,747

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,375
Forma Modificada	0,382
Valor-P	0,399*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de D01 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,105. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

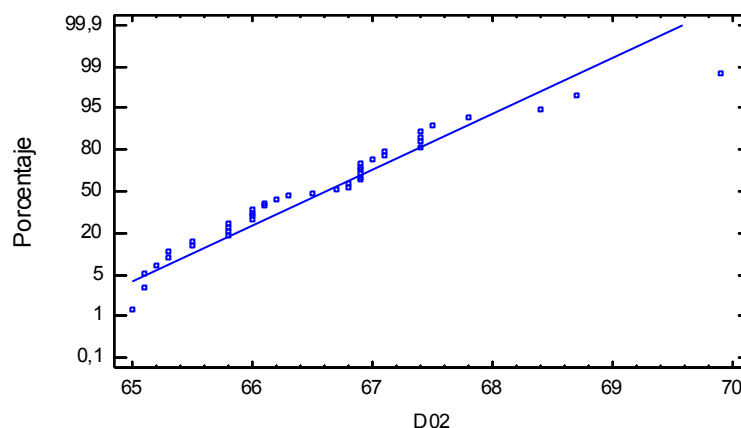
Resumen Estadístico para D02

Recuento	42
Promedio	66,6
Mediana	66,6
Varianza	1,08
Desviación Estándar	1,04
Coefficiente de Variación	1,56%
Mínimo	65,0
Máximo	69,9
Rango	4,9
Sesgo	0,882
Sesgo Estandarizado	2,33
Curtosis	1,43
Curtosis Estandarizada	1,89

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para D02. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor de sesgo estandarizado no se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

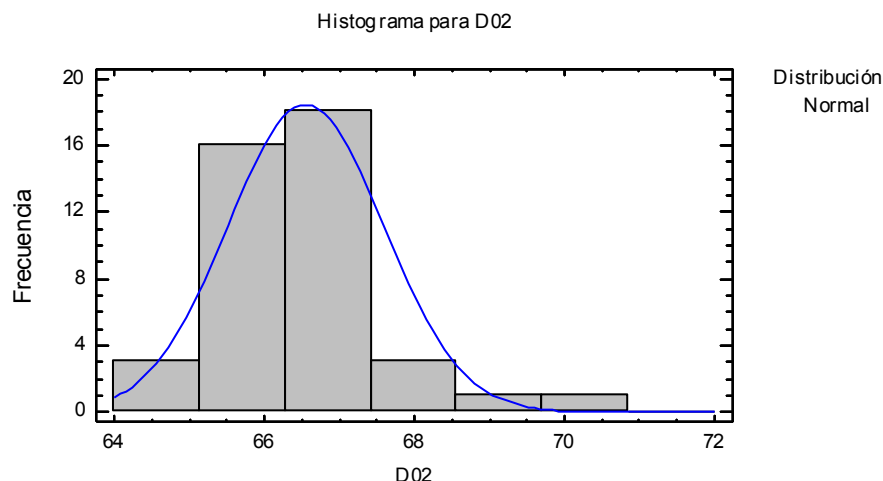
**Pruebas de Normalidad para D02**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,939	0,0371

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para D02

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,0972
DMENOS	0,0705
DN	0,0972
Valor-P	0,823

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0,599
Forma Modificada	0,611
Valor-P	0,112*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de D02 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,0972. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para D03

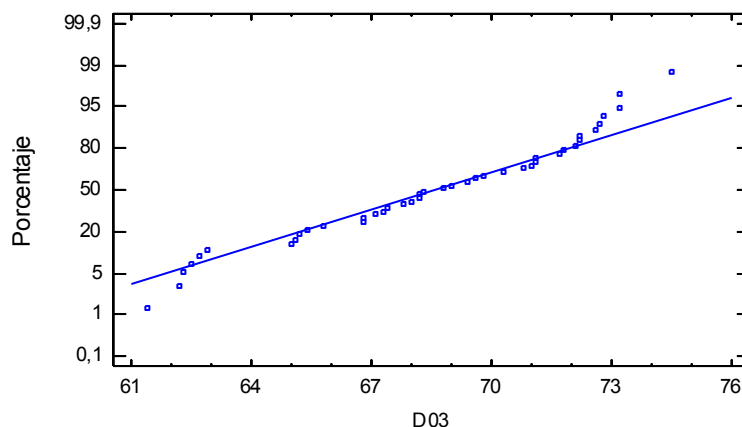
Recuento	42
Promedio	68,5
Mediana	68,5
Varianza	12,7
Desviación Estándar	3,56
Coefficiente de Variación	5,2%
Mínimo	61,4
Máximo	74,5
Rango	13,1
Sesgo	-0,372
Sesgo Estandarizado	-0,984
Curtosis	-0,826
Curtosis Estandarizada	-1,09

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para D03. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para D03

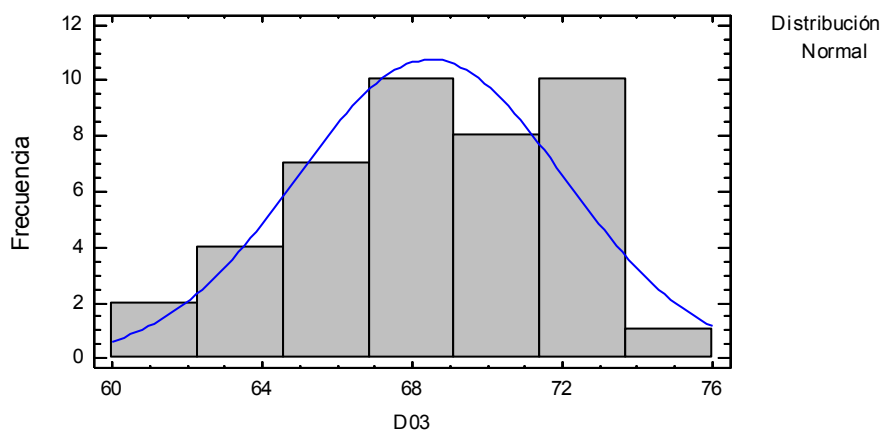
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,945	0,0621

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para D03



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para D03

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,0845
DMENOS	0,0996
DN	0,0996
Valor-P	0,799

Anderson-Darling A^2

	Normal
A^2	0,554
Forma Modificada	0,565
Valor-P	0,144*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si D03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de D03 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,0996. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que D03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

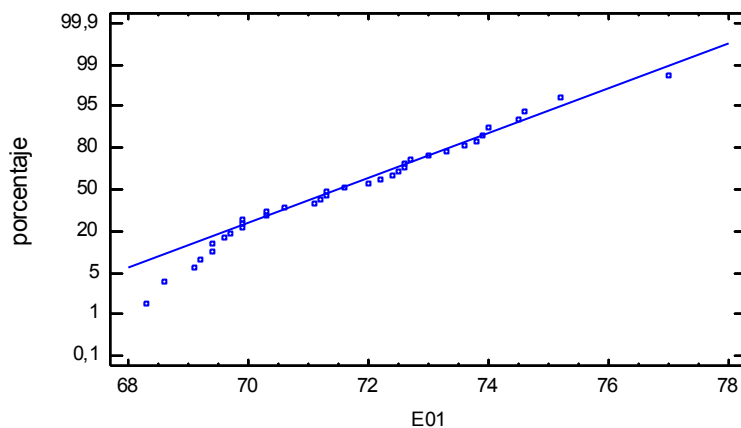
Resumen Estadístico para E01

Recuento	36
Promedio	71,7
Mediana	71,4
Varianza	4,34
Desviación Estándar	2,08
Coefficiente de Variación	2,91%
Mínimo	68,3
Máximo	77,0
Rango	8,7
Sesgo	0,42
Sesgo Estandarizado	1,03
Curtosis	-0,365
Curtosis Estandarizada	-0,447

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para E01. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

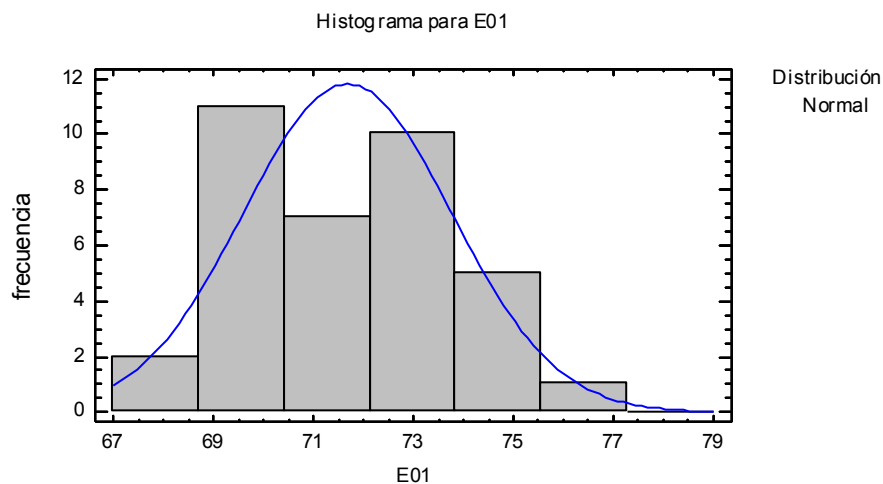
**Pruebas de Normalidad para E01**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,965	0,377

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para E01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,109
DMENOS	0,0523
DN	0,109
Valor-P	0,781

Anderson-Darling A²

	Normal
A ²	0,367
Forma Modificada	0,375
Valor-P	0,414*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E01 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de E01 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,109. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E01 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Resumen Estadístico para E02

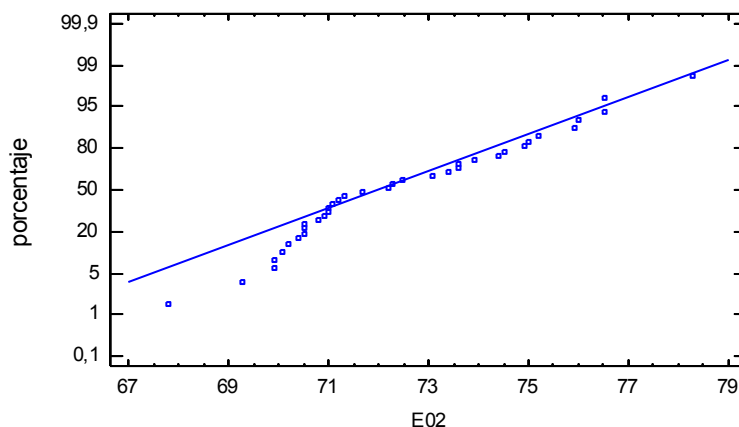
Recuento	36
Promedio	72,5
Mediana	72,0
Varianza	6,03
Desviación Estándar	2,46
Coeficiente de Variación	3,39%
Mínimo	67,8
Máximo	78,3
Rango	10,5
Sesgo	0,457
Sesgo Estandarizado	1,12
Curtosis	-0,533
Curtosis Estandarizada	-0,653

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para E02. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, los cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se

encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal



Pruebas de Normalidad para E02

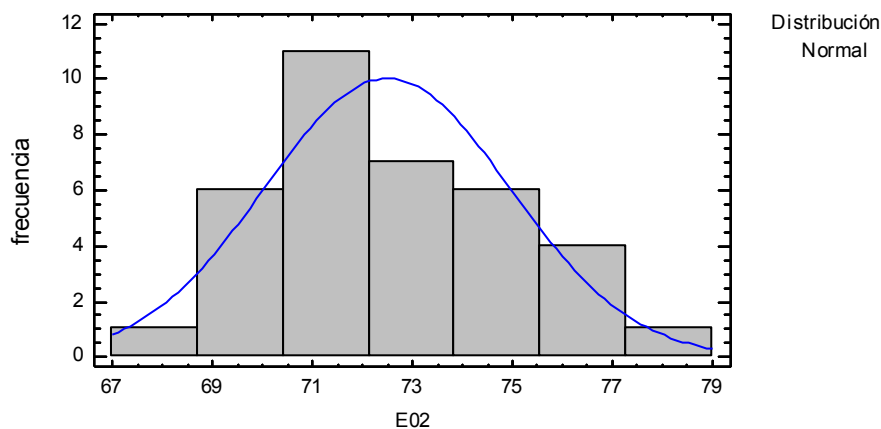
Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,953	0,175

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Histograma para E02



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para E02

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,159
DMENOS	0,0895
DN	0,159
Valor-P	0,322

Anderson-Darling A²

	Normal
A ²	0,725
Forma Modificada	0,741
Valor-P	0,0535*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E02 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de E02 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,159. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E02 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

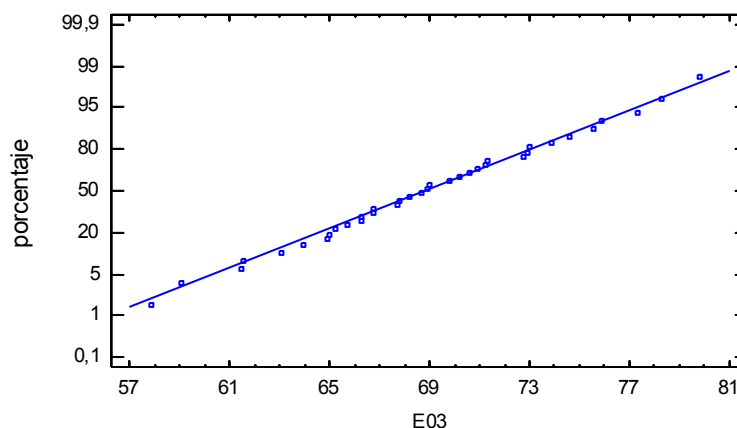
Resumen Estadístico para E03

Recuento	36
Promedio	69,0
Mediana	68,8
Varianza	27,5
Desviación Estándar	5,24
Coefficiente de Variación	7,6%
Mínimo	57,9
Máximo	79,8
Rango	21,9
Sesgo	0,0183
Sesgo Estandarizado	0,0449
Curtosis	-0,299
Curtosis Estandarizada	-0,366

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los estadísticos de resumen para E03. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Gráfico de Probabilidad Normal

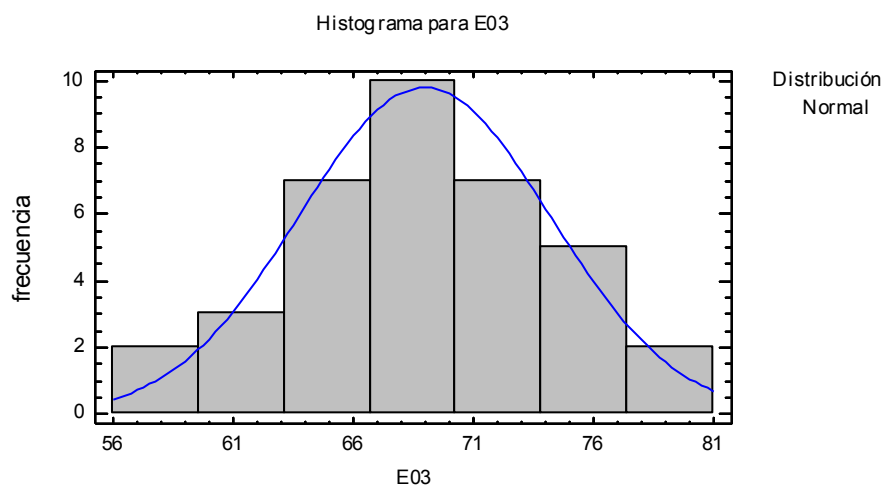
**Pruebas de Normalidad para E03**

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,988	0,97

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para E03

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,0526
DMENOS	0,0525
DN	0,0526
Valor-P	1,0

Anderson-Darling A²

	<i>Normal</i>
A ²	0,0951
Forma Modificada	0,0972
Valor-P	0,997*

*Indica que el Valor-P se ha comparado con tablas de valores críticos especialmente construidas para ajustar la distribución seleccionada. Otros valores-P están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores (excepto para la Prueba de Chi-Cuadrada).

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E03 puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de E03 y la FDA de la distribución normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0,0526. Los demás estadísticos comparan la función de distribución empírica con la FDA ajustada, en diferentes formas.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E03 proviene de una distribución normal con 95% de confianza.